

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**



**PROYECTO DE TESIS
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO
Y DE TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN PARA LA
AVENIDA JOSÉ DE LAMA DE SULLANA BASADA EN PANELES
SOLARES Y TECNOLOGÍA LED”**

PRESENTADO POR:

Br. Edwin Alexander García Rondoy


Br. Miguel Ángel Ubillús Vásquez

ASESORADA POR:

Ing. Omar Enrique Barra Zapata

PIURA 2014

APROBADO POR:



ING. EDWIN OCAS INFANTE
PRESIDENTE

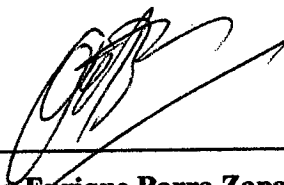


ING. JUAN JACINTO SANDOVAL
SECRETARIO

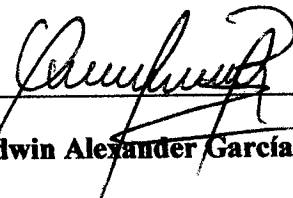


ING. EDUARDO AVILA REGLADO
VOCAL

Tesis presentada como requisito para optar el título de
Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones



Ing. Omar Enrique Barra Zapata
Asesor



Br. Edwin Alexander García Rondoy
Autor



Br. Miguel Ángel Ubillús Vásquez
Autor

Con infinito amor para las personas que forjaron mi
educación y que siempre estuvieron listas para
brindarme su ayuda incondicional. Porque sé que
este logro les alegra tanto a ellos como a mí, a mis
padres les dedico esta tesis.

A la persona que más amo en esta vida, y que ha
sido el motor, motivo, e impulso de mi inspiración.

Para ti, mi pequeño Benjamín

Miguel A. Ubillús Vásquez.

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que
hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr
mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando
sentía que el camino se terminaba, a ustedes por
siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Padres Georginio y Carmen

Edwin A. García Rondoy.

AGRADECIMIENTOS

A Dios,
Por acompañarme todos los días.

Angie,
Gracias por tu infinita paciencia,
Por tu tierna compañía e inagotable apoyo
Gracias por compartir mi vida mis logros,
Esta tesis también es tuya. Te amo.

Omar,
Gracias por tus consejos, enseñanzas y dedicación,
tanto en lo académico como en lo ético.

Edwin,
Por tu invaluable ayuda en este proyecto
que juntos logramos realizar.

Miguel A. Ubillús Vásquez.

Agradezco a Dios
Por protegerme durante todo mi camino y darme
fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo
largo de toda mi vida.

A mis padres,
Por su demostración ejemplar me han enseñado a
no desfallecer ni rendirme ante nada.

A mi tíos Feliz y Lucha,
Por su apoyo incondicional.

A Miguel,
Por acompañarme durante todo este arduo camino
en la universidad.

Al Ing. Omar barra, por su valiosa guía y asesoramiento
a la realización de la misma.

Edwin A. García Rondoy.

Agradecemos a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la
realización de este Tesis.

Agradecemos a la Universidad Nacional de Piura por darnos la oportunidad de ser
profesionales y poder contribuir con nuestro país.

RESUMEN

El presente proyecto de tesis propone una solución al problema de tráfico vehicular existente en la Av. José de Lama de la ciudad de Sullana.

En el capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema, donde se ha realizado la definición, limitación y formulación del mismo, resaltando la importancia y justificación de la investigación. Asimismo mostramos los objetivos del proyecto de la investigación y la viabilidad del mismo.

En el capítulo 2 se describen los conceptos teóricos en los cuales se ha basado para la realización del proyecto, desde conceptos básicos, hasta la presentación componentes de última tecnología.

En el capítulo 3 se da a conocer la metodología utilizada en el presente proyecto, especificando el tipo y cobertura de estudio, así como las técnicas e instrumentos utilizados para tal.

En el capítulo 4 se desarrolla el diseño del proyecto, explicando de manera clara y concisa, paso a paso la elaboración del mismo, empleando diagramas de bloques para cada etapa del proyecto. Se muestra también el circuito electrónico del semáforo telecontrolado, el código del programa grabado en el microcontrolador y desarrollado con la ayuda del compilador PicBasic Pro versión 2.6. Se detalla la ubicación específica de cada semáforo y de cada cámara de seguridad, y por último se dan a conocer los costos generales del proyecto.

Finalmente, en los capítulos 5 y 6 se consolidan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

INDICE GENERAL

INTRODUCCION

CAPITULO 1:

PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

1.1.	Descripción de la Realidad Problemática	11
1.2.	Definición y limitaciones del problema.	12
1.3.	Formulación del problema	12
1.4.	Objetivos de la investigación	12
1.4.1.	Objetivo general	12
1.4.2.	Objetivos específicos .	12
1.5.	Justificación e Importancia de la investigación	12
1.6.	Limitaciones y viabilidad de la investigación	13
1.6.1.	Limitaciones de la investigación	13
1.6.2.	Viabilidad de la investigación	13

CAPÍTULO 2:

MARCO TEÓRICO

2.1.	Fundamentos teóricos	15
2.1.1.	Semáforo	15
2.1.1.1.	Epistemología	16
2.1.1.2.	Historia	16
2.1.1.3.	Elección de colores	17
2.1.1.4.	Componentes	18
2.1.2.	Semáforos actuales	19
2.1.3.	Diodo emisor de luz (LED)	22
2.1.3.1.	Historia	23
2.1.3.2.	Funcionamiento físico	23
2.1.3.3.	Conexión	25
2.1.3.4.	Tecnología LED	27

2.1.3.5 Aplicaciones	30
2.1.4. Panel solar	33
2.1.5. Panel fotovoltaico	33
2.1.5.1 Historia	35
2.1.5.2 Las distintas generaciones de células fotovoltaicas	37
2.1.5.3 Las cuatro generaciones de células fotovoltaicas	38
2.1.5.4 Principios teóricos de funcionamiento: explicación simplificada	40
2.1.5.3 Fotogeneración de portadores de carga	42
2.1.5.6 Factores de eficiencia de una célula solar	46
2.1.5.7 Potencia y costes	48
2.1.5.8 Fabricación de paneles convencionales	49
2.1.5.9 Aplicaciones	49
2.1.6. Microcontroladores	51
2.1.6.1. Microcontroladores PIC	53
2.1.6.2. Juego de instrucciones y entorno de programación	54
2.1.6.3. Arquitectura central	55
2.1.6.4. Memoria RAM	56
2.1.6.5. Tamaño de palabra	56
2.1.6.6. Programación del microcontrolador PIC	57
2.1.6.7. Características generales del microcontrolador PIC	58
2.1.6.8. Variaciones del microcontrolador PIC	59
2.1.7. GSM	63
2.1.7.1. Alcance mundial y porcentaje de uso	63
2.1.7.2. Frecuencias	64
2.1.7.3. Historia y desarrollo	64
2.1.7.4. Tarjeta SIM	65
2.1.7.5. GSM en América latina	67
2.1.8. Comandos AT	67
2.2. Antecedentes del problema	67
2.3. Elaboración de la hipótesis	68

CAPÍTULO 3:

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de estudio	69
----------------------	----

3.2.	Cobertura del estudio	70
3.2.1.	Población	70
3.2.2.	Muestra	70
3.3.	Técnicas e Instrumentos	70
3.3.1.	Técnicas	70
3.3.2.	Instrumentos	70
CAPÍTULO 4:		
DISEÑO DEL PROYECTO		
4.1.-	Diagrama de bloques del sistema	71
4.1.1.-	Estación remota de control	71
4.1.2.-	Comunicación inalámbrica	72
4.1.3.-	Semáforo telecontrolado	72
4.2.-	Diseño de la estación remota de control	73
4.2.1.-	Elección y selección del computador	73
4.2.1.1.	Computador Compaq Presario serie CQ5517LA Desktop PC.	74
4.2.2.-	Modem GSM	75
4.2.2.1.-	Características del modem Enfora modelo GSM1218	76
4.3.-	Semáforo Telecontrolado	77
4.3.1.-	Semáforo vehicular	78
4.3.2.-	Semáforo peatonal	79
4.3.3.-	Contador	80
4.3.4.-	Panel solar fotovoltaico	81
4.3.5.-	Módulo de comunicación GSM	84
4.3.6.-	Controlador	84
4.4.	Diseño de Software Base	102
4.4.1.	Software del microcontrolador	103
4.4.2.	Software del computador	110
4.5.	Diseño del sistema de semaforización	111

4.6. Costos generales del proyecto	116
CAPÍTULO 5:	
CONCLUSIONES	120
CAPÍTULO 6:	
RECOMENDACIONES	121
CAPÍTULO 7:	
BIBLIOGRAFÍA	122

INTRODUCCIÓN

La realización del siguiente proyecto surge con la finalidad de contribuir con el mejoramiento del tránsito vehicular de la avenida José de Lama de la ciudad de Sullana. Al ser esta avenida la más transitada, y Sullana una ciudad con un crecimiento poblacional y comercial considerable, el crecimiento de su parque automotor es inevitable, Además el caos vehicular ya es un hecho, sobre todo en las principales intersecciones, tales como con la carretera panamericana o con la avenida M. Champagnat entre otras.

Se buscó la manera de utilizar los recursos naturales existentes, tal como la energía solar, un recurso abundante en la región, para la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Además de utilizar emisores de luz de bajo consumo, tales como los LEDs. De esta manera se intenta contribuir con el medio ambiente. Estos sistemas implementados se podrían aplicar incluso en otras ciudades.

Para la viabilidad del proyecto, se optó por sistemas de menor costo. Se propone el uso de tecnología GSM, cámaras IP ya instaladas y una central de control, en vez de sensores de tránsito vehicular, debido a la gran diferencia de costos. Además se seleccionaron los mejores equipos a utilizar en el proyecto de acuerdo a sus datos técnicos.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La avenida José de Lama de Sullana es una de las más importantes de esta ciudad debido a que ésta avenida es una de las entradas a la zona céntrica de la provincia, además de ser la entrada y salida de los buses de transporte público hacia las ciudades de Piura, Talara, Paita u otras zonas. Además cabe destacar que en esta avenida existen más de media docena de instituciones educativas, que debido a la gran afluencia de vehículos, necesitan de sistemas autónomos de seguridad vial ya que la policía escolar y nacional no se abastece.

En la actualidad los sistemas de semaforización son ampliamente utilizados en las ciudades en crecimiento y de gran afluencia vehicular, es más, debido al avance de la tecnología, los semáforos no solamente son meros indicadores de luz rojo, verde o amarillo, si no también se controlan de acuerdo a la concentración de vehículos y peatones, incluso muchos de ellos son diseñados para cuidar la ecología y a la vez disminuir considerablemente el consumo de energía, debido al uso de tecnología LED y al empleo de paneles solares.

Debido a todos estos detalles se ha pensado en diseñar un sistema de semaforización telecontrolado, un sistema que permita saber la cantidad de vehículos que crucen por la avenida y de acuerdo a esto darle preferencia de tiempo, todo esto debido a cámaras IP ubicadas estratégicamente a lo largo de la Av. José de Lama, y a que los semáforos estarán interconectados hacia una estación remota vía la red de telefonía celular usando tecnología GSM, donde se monitoreará la cantidad de vehículos que pasan por la avenida. Además de ello se ha pensado en un semáforo que funcione de acuerdo a la hora del día tomando en cuenta un estudio de concentración vehicular.

Finalmente este estudio abre la posibilidad de iniciar una investigación más profunda sobre los sistemas de semaforización que se pueden implementar en otras ciudades de nuestra región.

1.2. DEFINICIÓN Y LIMITACIONES DEL PROBLEMA

El problema principal radica en que la avenida José de Lama de la ciudad de Sullana no posee un sistema semaforización telecontrolado para contrarrestar los problemas de tráfico y agilizar el pase de vehículos. Para el caso de estudio, se diseñará un prototipo de semáforo telecontrolado.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a lo antes visto podemos formular el problema en forma de pregunta cómo se muestra a continuación:

¿Es posible diseñar un sistema de semaforización telecontrolado para la avenida José de Lama de la ciudad de Sullana?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de semaforización telecontrolado para la avenida José de Lama de la ciudad de Sullana.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar óptimamente cada etapa del semáforo.
- Seleccionar los mejores equipos a utilizar en el proyecto de acuerdo a sus datos técnicos.
- Diseñar el software y hardware para aplicación.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia de la investigación radica en utilizar las nuevas tecnologías LED y microcontroladores para desarrollar el sistema de semaforización. Con los sistemas implementados se puede hacer un prototipo que posteriormente se puede aplicar incluso en otras ciudades.

1.6. LIMITACIONES Y VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Limitaciones de la investigación

El autor no anticipa ninguna limitación en la presente investigación. Aquellas que surjan en el transcurso de su ejecución serán documentadas. Se contará con:

- Acceso de la información, tanto en la identificación del problema como durante el desarrollo y puesta en marcha del prototipo.
- Las herramientas tecnológicas mencionadas durante el desarrollo de esta investigación, así como los conceptos empleados son totalmente accesibles y disponibles en nuestro medio.

1.6.2. Viabilidad de la investigación

Los requerimientos tecnológicos determinados para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación se encuentran disponibles en el mercado y a nuestro alcance. Concretamente, dichos requerimientos están referidos a tecnologías de información, tales como hardware, software, Internet, y otras herramientas complementarias para el desarrollo del proyecto. Como se mostró en párrafos anteriores, no se cuentan con limitaciones preponderantes, es por ello que concluimos que la investigación es viable.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.1. Semáforo

En Wikipedia se menciona que el semáforo es un dispositivo de señalización posicionados en intersecciones de calles, pasos de peatones y otros lugares para regular el tráfico de vehículos y el tránsito de peatones.

Actualmente un semáforo es un dispositivo mecánico o eléctrico que regula el tráfico de vehículos y peatones en las intersecciones de caminos. El tipo más frecuente tiene tres luces de colores:

- **Verde**, para avanzar, puesto que no hay obstáculos.
- **Rojo**, para detenerse inmediatamente
- **Amarillo o Ámbar** como paso intermedio del verde a rojo, o precaución si está intermitente. El amarillo tiene un significado distinto si está intermitente (pasar con precaución) o si está fijo (detenerse, si la velocidad que llevemos nos lo permite con seguridad).



Figura 2.1. Semáforo convencional.

2.1.1.1. Epistemología

La palabra semáforo es de origen griego: σῆμα, señal, y foro, llevar, es decir, semáforo es lo que "lleva las señales"

En castellano, desde hace siglos, se llamaba semáforos a las torres de señales que se extendían por todo el territorio, desde las que por medio de señales ópticas (luces de noche, banderas de colores de día) se comunicaban las noticias importantes, más deprisa que con caballo al galope. También a las estaciones desde las que se transmitían las señales del telégrafo óptico establecido en las costas y en los puertos y cuyo objeto era dar a conocer las llegadas y las maniobras de los buques que venían de alta mar o navegaban a la vista o bien darles a conocer avisos urgentes por medio de bolas o de banderas o recibirlos de ellos. El semáforo consistía en un elevado mástil en el cual los vigías efectuaban las señales por medio de travesaños con la expresadas bolas o bien con banderas y si era de noche, con linternas. Por lo general, los semáforos estaban en comunicación con las estaciones telegráficas cercanas.

2.1.1.2. Historia

Se puede considerar como el primer semáforo a las luces de tránsito que se habían instalado en el exterior del parlamento británico de Westminster; obra del ingeniero J.P. Knight, especialista en señales de ferrocarril. Este aparato empezó a funcionar el 10 de diciembre de 1868 e imitaba a las señales de ferrocarril y sólo usaba las luces de gas rojas y verdes por la noche. Dos zumbidos señalaban que el tráfico que podía avanzar era el de la avenida y un sólo zumbido indicaba que era el tráfico de la calle 105. No tuvo una larga existencia dado un desafortunado accidente que provocó que explotase matando a un policía. Hasta la invención del automóvil no fue necesaria, y fue sólo entonces cuando se retomó su desarrollo.

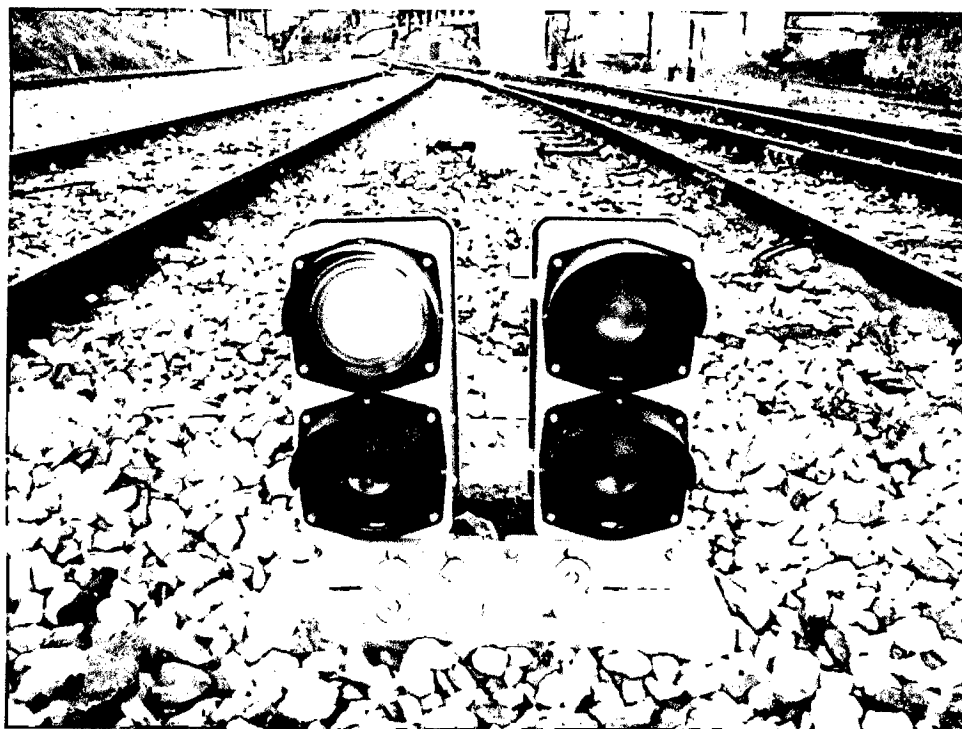


Figura 2.2. Semáforo de ferrocarril.

El 4 de agosto de 1914 se instaló el primer semáforo "moderno", en Cleveland, Estados Unidos (véase la figura 2.3). Gestionaba el tráfico entre la avenida Euclid y la calle 105 Este. Contaba con luces rojas y verdes, colocadas sobre unos soportes con forma de brazo. Además incorporaba un emisor de zumbidos como su antecesor inglés. El sistema cambió pocos años después y se sustituyó el zumbador por una tercera luz de color ámbar. Los primeros semáforos de tres luces aparecieron en 1920 en las calles de Detroit, Estados Unidos, en semáforos de cuatro direcciones y en Nueva York, donde se pusieron a prueba en la Quinta Avenida. En esa ciudad, meses más tarde, los semáforos entraron oficialmente en servicio. Sólo dos años después empezaron a funcionar de forma automática en toda la isla de Manhattan. Y en 1953 aparecieron los primeros semáforos eléctricos. Ocho años más tarde, en el 1961, se agregó en Berlín, un dispositivo que regulaba la circulación de los peatones. Actualmente es común ver en algunas calles el uso de semáforos tanto vehiculares como peatonales (véase la figura 2.4).



Figura 2.3. Primer semáforo instalado en Cleveland.



Figura 2.4. Semáforo peatonal.

2.1.1.3. Elección de colores

El motivo por el que se eligieron el color rojo y el verde para la regulación del tráfico es que se heredaron del mundo del ferrocarril que a su vez las había heredado del marítimo. Desde siglos atrás, los barcos utilizaban un código de colores para señalar el derecho de paso (código de colores que se sigue usando hoy en día y, ahora también, en las alas de los aviones): rojo a babor y verde a estribor. De este modo, si dos barcos se acercan el uno al otro perpendicularmente; uno de ellos ve la luz roja en el babor del otro, que se le acerca por la derecha, y el barco que viene por la derecha ve la luz verde en el estribor del otro barco. El timonel que veía la luz roja sabía que debía ceder el paso al otro barco, y el que veía la luz verde sabía que podía continuar sin problemas.

2.1.1.4. Componentes

El semáforo está formado por los siguientes componentes:

- **Cabeza:** Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Cada cabeza contiene un número determinado de caras orientadas en diferentes direcciones.
- **Soportes:** Los soportes son las estructuras que se utilizan para sujetar la cabeza de los semáforos de forma que les permitan algunos ajustes angulares, verticales y horizontales.
- **Cara:** Son las distintas luces de las cuales están formados los semáforos. En cada cara puede haber desde dos luces hasta más de tres, siendo la de tres luces las caras más usuales.
- **Lente:** Es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada. Este elemento desaparece en los nuevos semáforos basados en tecnología LED.
- **Visera:** Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre éstas y den la impresión de estar iluminadas, así como también para impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos hacia el cual está enfocado. Como el caso de las lentes, esta parte está desapareciendo ya que los nuevos semáforos basados en tecnología LED iluminan de mejor forma que los antiguos.
- **Placa de contraste:** Elemento utilizado para incrementar la visibilidad del semáforo y evitar que otras fuentes lumínicas confundan al conductor.

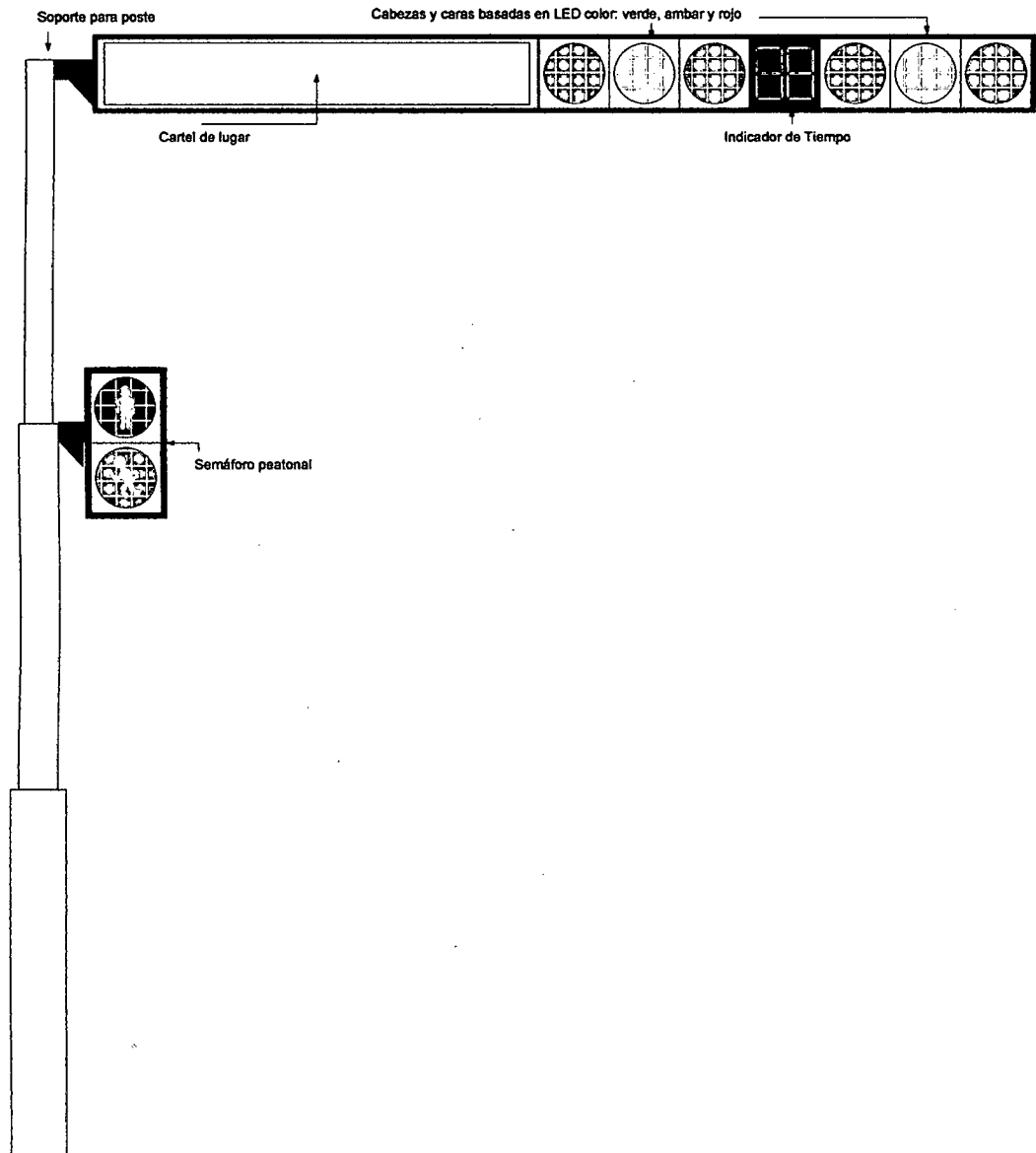


Figura 2.5. Semáforo LED y sus partes.

2.1.2. Semáforos actuales

Los semáforos han ido evolucionando con el paso del tiempo y actualmente y debido a su rentabilidad, se están utilizando lámparas a LED para la señalización luminosa, puesto que las lámparas basadas en LED utilizan sólo 10% de la energía consumida por las lámparas incandescentes, tienen una vida estimada 50 veces superior, y por tanto generan importantes ahorros de energía y de mantenimiento, satisfaciendo el objetivo de conseguir una mayor fiabilidad y seguridad pública. Entre las mayores ventajas que tienen las señales luminosas con LED figuran:

- Muy bajo consumo y por tanto ahorran energía.
- Mayor vida útil de las lámparas.
- Mínimo mantenimiento.
- Respeto por el medio ambiente.
- Simple recambio.
- Unidad óptica a prueba de luz solar y Alto contraste con luz solar.
- Señalización luminosa uniforme.
- Evita el fundido de las luces, al estar formadas estas por una matriz de diodos; por lo que en ese caso solo lo harán unos cuantos diodos y no todo el conjunto, de forma que el semáforo nunca se apagará por un fallo de este tipo.
- Mayor seguridad vial.
- Se pueden cambiar la imágenes fácilmente (ej, en Madrid durante el día de la mujer añadieron falda a los muñequitos)
- Animaciones como peatón moviéndose, cuentas atrás, etc.
- Su bajo consumo permite que funcionen automáticamente mediante una batería durante cierto tiempo.
- Precaución a los peatones
- Incorporación de sonidos intermitentes cuando el muñeco verde esté parpadeando para ponerse en rojo. Actualmente se utiliza una voz grabada con el nombre de la calle para que un peatón ciego no se pueda confundir con otros semáforos cercanos e incluso con los cantos de canarios, como sucedía con los primeros semáforos con este sistema.

La óptica de LED está compuesta por una placa de circuito impreso, policarbonato de protección, casquillo roscante E-27, todos estos elementos

están integrados sobre un soporte cónico. El circuito impreso, policarbonato de protección y envoltura cónica, poseen orificios de ventilación para facilitar la evacuación de calor de su interior.

Aunque los diodos LED ofrece multitud de ventajas respecto a las bombillas tradicionales uno de sus mayores inconvenientes es que no soportan bien los cambios bruscos de energía, que es lo que ocurre cuando se encienden o se apagan cada una de las luces del semáforo, ya que además cada luz debe apagarse rápidamente para no provocar confusión con el resto de las luces, lo que provoca que algunos diodos se fundan.

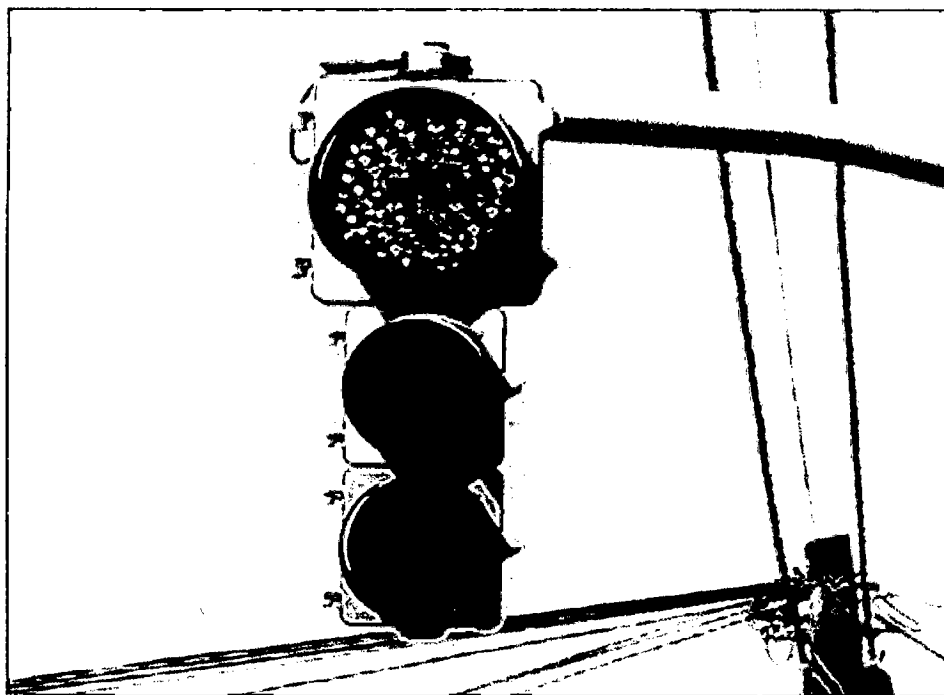


Figura 2.6. Semáforos basados en tecnología LED.

Desde hace algunos años se viene utilizando la tecnología inalámbrica en los semáforos, después de que los semáforos inteligentes no hayan llegado a funcionar todo lo bien que se esperaba. En varias ciudades de España los medios de transporte y los de emergencia incorporan equipos informáticos emisores y receptores digitales de señales de radio de muy corto alcance. Estas unidades permiten que cuando el vehículo que las porta se acerca a un semáforo equipado con otro equipo ambos dispositivos se conectan entre ellos y después de verificar el código de autorización los semáforos que regulan la intersección se coordinan para dar vía libre al autobús o ambulancia, consiguiendo de esta forma un tráfico

fluido del transporte público o el paso de una ambulancia en servicio de forma segura en los cruces. Aunque no es una tecnología muy extendida posiblemente vaya creciendo su uso, según los resultados que se vayan obteniendo.

2.1.3. Diodo emisor de luz (LED)

El nombre español proviene del acrónimo inglés **LED** (*Light-Emitting Diode*). Un LED o diodo emisor de luz es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz incoherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo y circula por él una corriente eléctrica. Este fenómeno es una forma de electroluminiscencia. El color, depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo. Los diodos emisores de luz que emiten luz ultravioleta también reciben el nombre de led UV (*ultraviolet light*: ‘luz ultravioleta’) y los que emiten luz infrarroja se llaman IRED (*InfraRed Emitting Diode*).

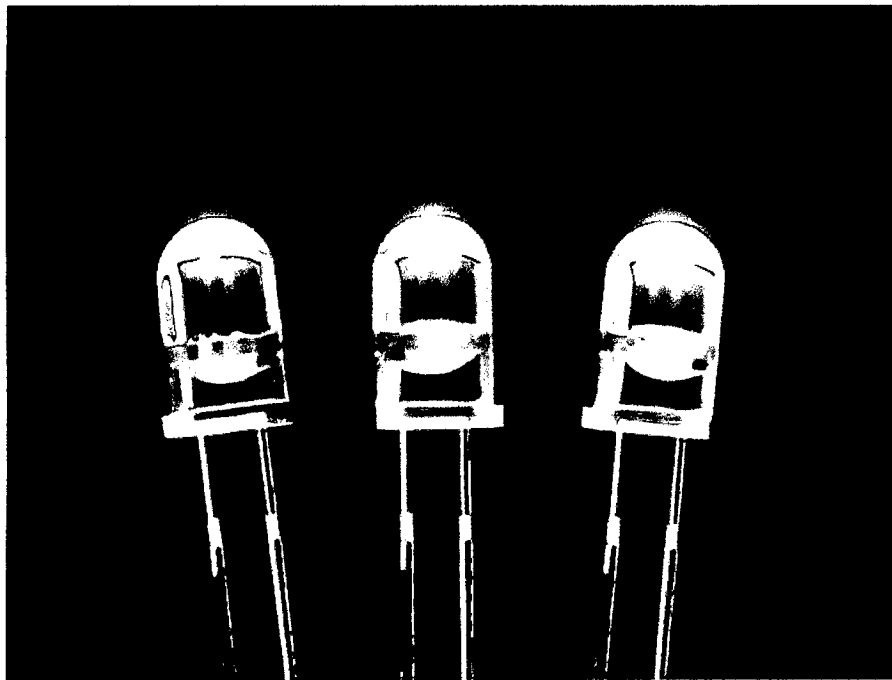


Figura 2.7. Diodos emisores de luz.

2.1.3.1. Historia

El primer LED fue desarrollado en 1927 por Oleg Vladimirovic Losev, sin embargo no se usó en la industria hasta los años sesenta. Solo se podían construir de color rojo, verde y amarillo con poca intensidad de luz y limitaba su utilización a mandos a distancia (controles remotos) y electrodomésticos para marcar el encendido y apagado. A finales del siglo XX se inventaron los ledes ultravioletas y azules, lo que dio paso al desarrollo del LED blanco, que es un LED de luz azul con recubrimiento de fósforo que produce una luz amarilla, la mezcla del azul y el amarillo produce una luz blanquecina denominada "luz de luna" consiguiendo alta luminosidad (7 lúmenes unidad) con lo cual se ha ampliado su utilización en sistemas de iluminación. En la figura 2.8 se muestran las partes de un diodo emisor de luz. Como se puede apreciar, un LED convencional tiene 2 pines denominados ánodo y cátodo.

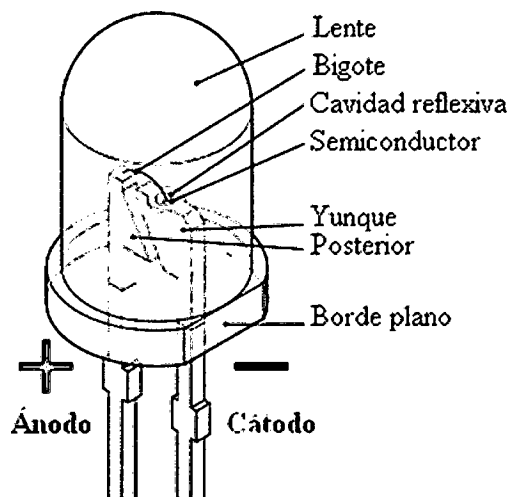


Figura 2.8. Diodo LED y sus partes.

2.1.3.2. Funcionamiento físico

El funcionamiento físico consiste en que, en los materiales semiconductores, un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. El que esa energía perdida cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la de valencia se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) va a depender principalmente del tipo de material semiconductor. Cuando un diodo

semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo.

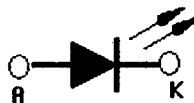


Figura 2.9. Símbolo electrónico de un LED.

Si los electrones y huecos están en la misma región, pueden recombinarse, es decir, los electrones pueden pasar a "ocupar" los huecos, "cayendo" desde un nivel energético superior a otro inferior más estable. Este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa o "direct bandgap" con la energía correspondiente a su banda prohibida. Esto no quiere decir que en los demás semiconductores (semiconductores de banda prohibida indirecta o "indirect bandgap") no se produzcan emisiones en forma de fotones; sin embargo, estas emisiones son mucho más probables en los semiconductores de banda prohibida directa (como el Nitruro de Galio) que en los semiconductores de banda prohibida indirecta (como el silicio).

La emisión espontánea, por tanto, no se produce de forma notable en todos los diodos y sólo es visible en diodos como los LED de luz visible, que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible. En otros diodos, la energía se libera principalmente en forma de calor, radiación infrarroja o radiación ultravioleta. En el caso de que el diodo libere la energía en forma de radiación ultravioleta, se puede conseguir aprovechar esta radiación para producir radiación visible, mediante sustancias fluorescentes o fosforescentes que absorban la radiación ultravioleta emitida por el diodo y posteriormente emitan luz visible.

El dispositivo semiconductor está comúnmente encapsulado en una cubierta de plástico de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lámparas incandescentes. Aunque el plástico puede estar coloreado, es sólo por razones estéticas, ya que ello no influye en el color de la luz emitida.

Usualmente un LED es una fuente de luz compuesta con diferentes partes, razón por la cual el patrón de intensidad de la luz emitida puede ser bastante complejo.

Para obtener buena intensidad luminosa debe escogerse bien la corriente que atraviesa al LED; para ello, hay que tener en cuenta que el voltaje de operación va desde 1,8 hasta 3,8 voltios aproximadamente (lo que está relacionado con el material de fabricación y el color de la luz que emite) y la gama de intensidades que debe circular por él varía según su aplicación. Valores típicos de corriente directa de polarización de un LED corriente están comprendidos entre los 10 y los 40mA. En general, los LED suelen tener mejor eficiencia cuanto menor es la corriente que circula por ellos, con lo cual, en su operación de forma optimizada, se suele buscar un compromiso entre la intensidad luminosa que producen (mayor cuanto más grande es la intensidad que circula por ellos) y la eficiencia (mayor cuanto menor es la intensidad que circula por ellos). El primer LED que emitía en el espectro visible fue desarrollado por el ingeniero de General Electric Nick Holonyak en 1962.

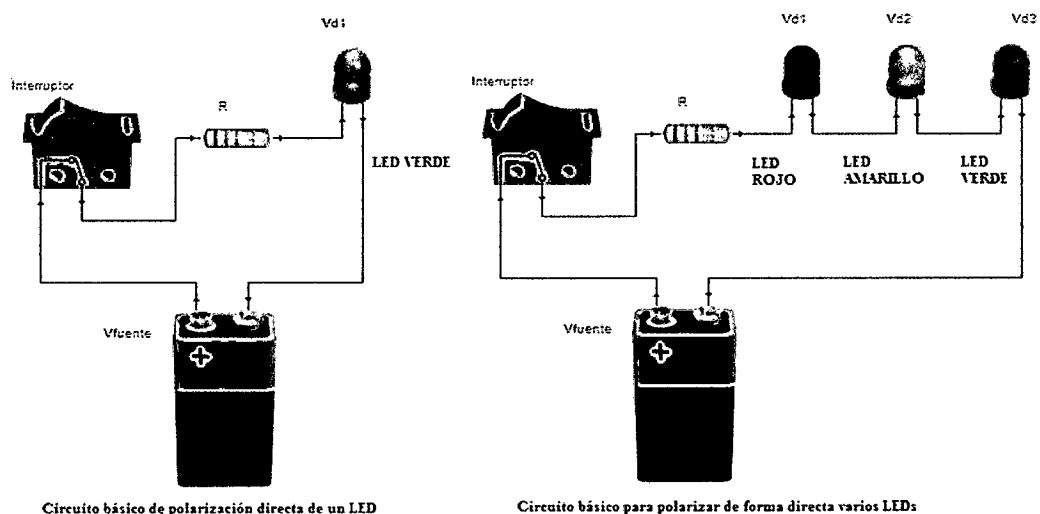


Figura 2.10. Esquema circuital de funcionamiento de un diodo.

2.1.3.3. Conexión

Para conectar diodos emisores de luz de modo que iluminen de forma continua, deben estar polarizados directamente, es decir, con el polo positivo de la fuente de alimentación conectado al ánodo y el polo negativo conectado al cátodo. Además, la fuente de alimentación debe suministrarle una tensión o diferencia

de potencial superior a su tensión umbral. Por otro lado, se debe garantizar que la corriente que circula por ellos no exceda los límites admisibles, lo que dañaría irreversiblemente al LED. (Esto se puede hacer de manera sencilla con una resistencia R en serie con los diodos emisores de luz). En la figura 2.10 se muestra cómo polarizar directamente diversos LED.

La diferencia de potencial V_d varía de acuerdo a las especificaciones relacionadas con el color y la potencia soportada.

En términos generales, pueden considerarse de forma aproximada los siguientes valores de diferencia de potencial:

- Rojo = 1,8 a 2,2 voltios.
- Anaranjado = 2,1 a 2,2 voltios.
- Amarillo = 2,1 a 2,4 voltios.
- Verde = 2 a 3,5 voltios.
- Azul = 3,5 a 3,8 voltios.
- Blanco = 3,6 voltios.

Luego mediante la ley de Ohm, puede calcularse la resistencia R adecuada para la tensión de la fuente V_{fuente} que utilizemos.

$$R = \frac{V_{fuente} - (V_{d1} + V_{d2} + \dots)}{I}$$

El término I , en la fórmula, se refiere al valor de corriente para la intensidad luminosa que necesitamos. Lo común es de 10mA para un LED de baja luminosidad y 20 mA para un LED de alta luminosidad; un valor superior puede inhabilitar el led o reducir de manera considerable su tiempo de vida.

Otros diodos emisores de luz de una mayor capacidad de corriente conocidos como diodos emisores de luz de potencia o LED de potencia (1W, 3W, 5W, etc.), pueden ser usados a 150mA, 350mA, 750mA o incluso a 1000mA dependiendo de las características opto-eléctricas dadas por el fabricante.

Cabe recordar que también pueden conectarse varios en serie, sumándose las diferencias de potencial en cada uno. También se pueden hacer configuraciones en paralelo, aunque este tipo de configuraciones no son muy recomendadas para diseños de circuitos con diodos emisores de luz eficientes.

2.1.3.4. Tecnología LED

En corriente continua (CC), todos los diodos emiten cierta cantidad de radiación cuando los pares electrón-hueco se recombinan; es decir, cuando los electrones *caen* desde la banda de conducción (de mayor energía) a la banda de valencia (de menor energía), emitiendo fotones en el proceso. Indudablemente, por ende, su color dependerá de la altura de la banda prohibida (diferencias de energía entre las bandas de conducción y valencia), es decir, de los materiales empleados. Los diodos convencionales, de silicio o germanio, emiten radiación infrarroja muy alejada del espectro visible. Sin embargo, con materiales especiales pueden conseguirse longitudes de onda visibles. Los LED e IRED, además tienen geometrías especiales para evitar que la radiación emitida sea reabsorbida por el material circundante del propio diodo, lo que sucede en los convencionales.

Compuesto	Color	Longitud de onda
Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940 nm
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	890 nm
Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	Rojo, anaranjado y amarillo	630 nm
Fosfuro de galio (GaP)	Verde	555 nm
Nitruro de galio (GaN)	Verde	525 nm
Seleniuro de zinc (ZnSe)	Azul	
Nitruro de galio e indio (InGaN)	Azul	450 nm
Carburo de silicio (SiC)	Azul	480 nm
Diamante (C)	Ultravioleta	
Silicio (Si)	En desarrollo	

Tabla 2.1. Diodos emisores de luz.

Los primeros diodos construidos fueron los diodos infrarrojos y de color rojo, permitiendo el desarrollo tecnológico posterior la construcción de diodos para longitudes de onda cada vez menores. En particular, los diodos azules fueron

desarrollados a finales de los años noventa por Shuji Nakamura, añadiéndose a los rojos y verdes desarrollados con anterioridad, lo que permitió, por combinación de los mismos, la obtención de luz blanca. El diodo de seleniuro de zinc puede emitir también luz blanca si se mezcla la luz azul que emite con la roja y verde creada por fotoluminiscencia. La más reciente innovación en el ámbito de la tecnología led son los diodos ultravioleta, que se han empleado con éxito en la producción de luz negra para iluminar materiales fluorescentes.

Tanto los diodos azules como los ultravioletas son caros respecto de los más comunes (rojo, verde, amarillo e infrarrojo), siendo por ello menos empleados en las aplicaciones comerciales.

Los LED comerciales típicos están diseñados para potencias del orden de los 30 a 60mW. En torno a 1999 se introdujeron en el mercado diodos capaces de trabajar con potencias de 1 vatio para uso continuo; estos diodos tienen matrices semiconductoras de dimensiones mucho mayores para poder soportar tales potencias e incorporan aletas metálicas para disipar el calor (véase convección) generado por efecto Joule.

Hoy en día, se están desarrollando y empezando a comercializar ledes con prestaciones muy superiores a las de hace unos años y con un futuro prometedor en diversos campos, incluso en aplicaciones generales de iluminación. Como ejemplo, se puede destacar que Nichia Corporation ha desarrollado LEDde luz blanca con una eficiencia luminosa de 150 lm/W, utilizando para ello una corriente de polarización directa de 20 miliamperios (mA). Esta eficiencia, comparada con otras fuentes de luz en términos de rendimiento sólo, es aproximadamente 1,7 veces superior a la de la lámpara fluorescente con prestaciones de color altas (90 lm/W) y aproximadamente 11,5 veces la de una lámpara incandescente (13 lm/W). Su eficiencia es incluso más alta que la de la lámpara de vapor de sodio de alta presión (132 lm/W), que está considerada como una de las fuentes de luz más eficientes.²

El comienzo del siglo XXI ha visto aparecer los diodos OLED (ledes orgánicos), fabricados con materiales polímeros orgánicos semiconductores. Aunque la eficiencia lograda con estos dispositivos está lejos de la de los diodos

inorgánicos, su fabricación promete ser considerablemente más barata que la de aquellos, siendo además posible depositar gran cantidad de diodos sobre cualquier superficie empleando técnicas de pintado para crear pantallas en color.

El OLED (*Organic Light-Emitting Diode*: diodo orgánico de emisión de luz) es un diodo basado en una capa electroluminiscente que está formada por una película de componentes orgánicos, y que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos.

No se puede hablar realmente de una tecnología OLED, sino más bien de tecnologías basadas en OLED, ya que son varias las que hay, dependiendo del soporte y finalidad a la que vayan destinados.

Su aplicación es realmente amplia, mucho más que, en el caso que nos ocupa (su aplicación en el mundo de la informática), cualquier otra tecnología existente.

Pero además, las tecnologías basadas en OLED no solo tienen una aplicación puramente como pantallas reproductoras de imagen, sino que su horizonte se amplía al campo de la iluminación, privacidad y otros múltiples usos que se le pueda dar.

Las ventajas de esta nueva tecnología son enormes, pero también tiene una serie de inconvenientes, aunque la mayoría de estos son totalmente circunstanciales, y desaparecerán en unos casos conforme se siga investigando en este campo y en otros conforme vaya aumentando su uso y producción.

Una solución tecnológica que pretende aprovechar las ventajas de la eficiencia alta de los LED típicos (hechos con materiales inorgánicos principalmente) y los costes menores de los OLED (derivados del uso de materiales orgánicos) son los Sistemas de Iluminación Híbridos (Orgánicos/Inorgánicos) basados en diodos emisores de luz. Dos ejemplos de este tipo de solución tecnológica los está intentado comercializar la empresa Cyberlux con los nombres de Hybrid White Light (HWL) (Luz Blanca Híbrida) y Hybrid Multi-color Light (HML) (Luz Multicolor Híbrida), cuyo resultado, puede producir sistemas de iluminación mucho más eficientes y con un coste menor que los actuales.

2.1.3.5. Aplicaciones

Los diodos infrarrojos (IRED) se emplean desde mediados del siglo XX en mandos a distancia de televisores, habiéndose generalizado su uso en otros electrodomésticos como equipos de aire acondicionado, equipos de música, entre otros, y en general para aplicaciones de control remoto, así como en dispositivos detectores, además de ser utilizados para transmitir datos entre dispositivos electrónicos como en redes de computadoras y dispositivos como teléfonos móviles, computadoras de mano; aunque esta tecnología de transmisión de datos ha dado paso al bluetooth en los últimos años, quedando casi obsoleta.

Los LED se emplean con profusión en todo tipo de indicadores de estado (encendido/apagado) en dispositivos de señalización (de tránsito, de emergencia, etc.) y en paneles informativos (el mayor del mundo, del NASDAQ, tiene 36,6 metros de altura y está en Times Square, Manhattan). También se emplean en el alumbrado de pantallas de cristal líquido de teléfonos móviles, calculadoras, agendas electrónicas, etc., así como en bicicletas y usos similares.

El uso de diodos emisores de luz en el ámbito de la iluminación (incluyendo la señalización de tráfico) es moderado y es previsible que se incremente en el futuro, ya que sus prestaciones son superiores a las de la lámpara incandescente y la lámpara fluorescente, desde diversos puntos de vista. La iluminación con LED presentan indudables ventajas: fiabilidad, mayor eficiencia energética, mayor resistencia a las vibraciones, mejor visión ante diversas circunstancias de iluminación, menor disipación de energía, menor riesgo para el medio ambiente, capacidad para operar de forma intermitente de modo continuo, respuesta rápida, etc. Asimismo, con tecnología LED se pueden producir luces de diferentes colores con un rendimiento luminoso elevado, a diferencia de muchas de las lámparas utilizadas hasta ahora, que tienen filtros para lograr un efecto similar (lo que supone una reducción de su eficiencia energética). Cabe destacar también que diversas pruebas realizadas por importantes empresas y organismos han concluido que el ahorro energético varía entre un 70% y 80% respecto a la iluminación tradicional que se utiliza hasta ahora. Todo ello pone de manifiesto las numerosas ventajas que los LED ofrecen en relación al alumbrado público.

Los LED de Luz Blanca, son uno de los desarrollos más recientes y pueden considerarse como un intento muy bien fundamentado para sustituir las bombillas actuales (lámparas incandescentes) por dispositivos mucho más ventajosos. En la actualidad se dispone de tecnología que consume el 92% menos que las bombillas incandescentes de uso doméstico común y un 30% menos que la mayoría de las lámparas fluorescentes; además, estos LED pueden durar hasta 20 años y suponer un 200% menos de costes totales de propiedad si se comparan con las bombillas o tubos fluorescentes convencionales. Estas características convierten a los LED de Luz Blanca en una alternativa muy prometedora para la iluminación.

También se utilizan en la emisión de señales de luz que se transmiten a través de fibra óptica. Sin embargo esta aplicación está en desuso ya que actualmente se opta por tecnología láser que focaliza más las señales de luz y permite un mayor alcance de la misma utilizando el mismo cable. Sin embargo en los inicios de la fibra óptica eran usados por su escaso coste, ya que suponían una gran ventaja frente al coaxial (aun sin focalizar la emisión de luz).

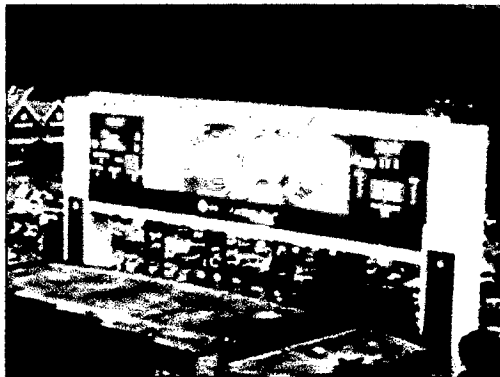


Figura 2.11. Pantalla LED del estadio de Arkansas Razorbacks, fotografía cortesía de Wikipedia.

Otra aplicación interesante es la pantalla LED: pantalla muy brillante, formada por filas de LED verdes, azules y rojos, ordenados según la arquitectura RGB, controlados individualmente para formar imágenes vivas, muy brillantes, con un altísimo nivel de contraste, entre sus principales ventajas, frente a otras pantallas encontramos: buen soporte de color, brillo extremadamente alto, lo que le da la capacidad ser completamente visible bajo la luz del sol, es increíblemente resistente a impactos.



Figura 2.12. Pantalla LED en Fremont Street en Las Vegas, es una de las más grandes del mundo, fotografía cortesía de Wikipedia.

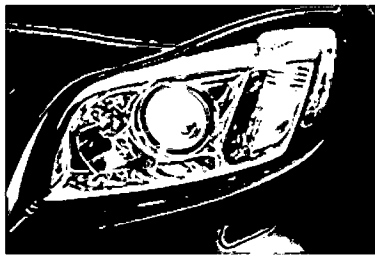


Figura 2.13. Diodos emisores de luz aplicados en los faros de los vehículos, fotografía cortesía de Wikipedia.

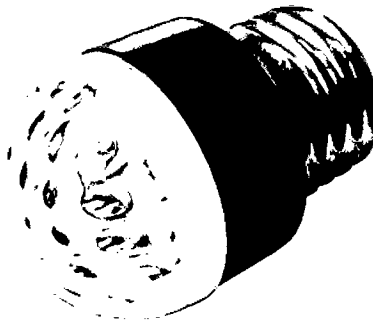


Figura 2.14. Bombilla basada en tecnología LED.

2.1.4. Panel solar

Un panel solar es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar. El término comprende a los colectores solares utilizados para producir agua caliente (usualmente doméstica) y a los paneles fotovoltaicos utilizados para generar electricidad.

2.1.5. Panel fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos: están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas, del griego "*fotos*", luz. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía luminosa produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Los paneles fotovoltaicos, además de producir energía que puede alimentar una red eléctrica, pueden emplearse en vehículos eléctricos y barcos solares. Lo mejor de estas técnicas se reúne en competiciones como la *Solar Splash* en América del Norte, o la *Frisian Nuon Solar Challenge*² en Europa.

En 2005 el problema más importante con los paneles fotovoltaicos era el costo, que ha estado bajando hasta 3 o 4 dólares por vatio. El precio, \$, del silicio usado para la mayor parte de los paneles ahora está tendiendo a subir. Esto ha hecho que los fabricantes comiencen a utilizar otros materiales y paneles de silicio más delgados para bajar los costes de producción. Debido a economías de escala, los paneles solares se hacen menos costosos según se usen y fabriquen más. A medida que se aumente la producción, los precios continuarán bajando en los próximos años. El área de mayor crecimiento lo forman los sistemas conectados a la red pública. En los Estados Unidos, con incentivos de los estados, compañías eléctricas y (en 2006 y 2007) del gobierno federal, el crecimiento continuará. Los programas de contadores conectados a red (*net metering*) permitirán a los usuarios recibir una compensación por cualquier energía extra que incorpore a la red. La mayor parte de este sistema compra la energía al mismo precio de venta, aunque algunas compañías la compran a un precio cercano a 1/3 de lo que cobran. Como contraste, en Alemania se ha

adoptado un sistema extremo de net-metering para incentivar el crecimiento del mercado de las energías renovables, de forma que se paga ocho veces lo que la compañía cobra. Este alto incentivo ha creado una enorme demanda de paneles solares en ese país.

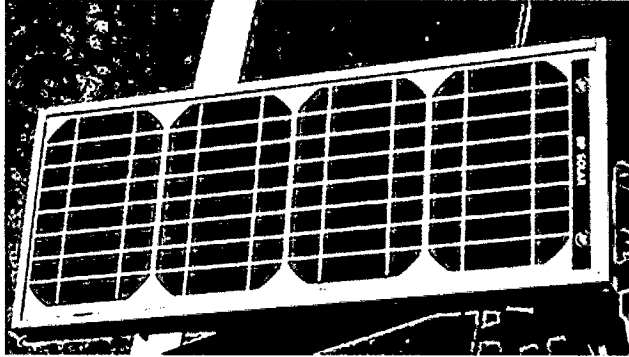


Figura 2.15. Panel fotovoltaico.

El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m^2
- Temperatura de célula de 25°C (no temperatura ambiente).

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

- **Cristalinas**
 - **Monocrystalinas:** se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se observa, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).
 - **Policristalinas:** cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- **Amorfas:** cuando el silicio no se ha cristalizado. Su efectividad es mayor, cuanto mayores son los cristales, pero también su peso, grosor y coste. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras

que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su coste y peso es muy inferior.

2.1.5.1. Historia

El término fotovoltaico proviene del griego $\phi\acute{o}\varsigma$: *phos*, que significa “luz” y voltaico, que proviene del campo de la electricidad, en honor al físico italiano Alejandro Volta, (que también proporciona el término voltio a la unidad de medida de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional de medidas). El término fotovoltaico se comenzó a usar en Inglaterra desde el año 1849.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar no se construyó hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia de sólo un 1%. Russell Ohl patentó la célula solar moderna en el año 1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado, con anterioridad, un método que trataba de incrementar la capacidad de las células fotosensibles.

La era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó hasta el año 1954 cuando los Laboratorios Bell, descubrieron, de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz.

Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente, el 6%. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y los EEUU un año después. En el diseño de éste se usaron células solares creadas por Peter Iles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics.

La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958. Este hito generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles solares.

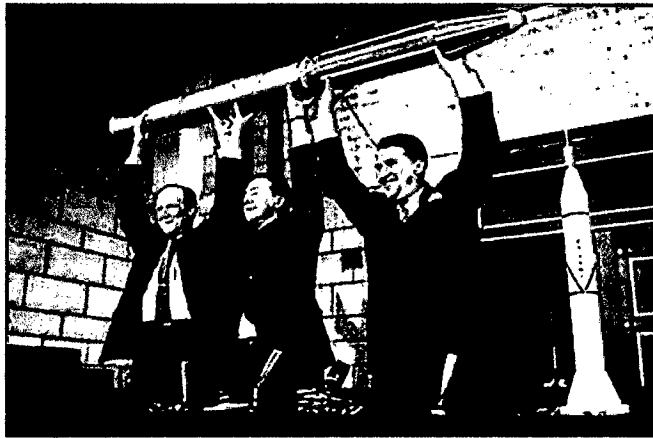


Figura 2.16. James Van Allen (en el centro) con una réplica del propulsor que lanzó el Explorer 1 en el año 1958.

En 1970 la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrolló en la extinta URSS por Zhore Alferov y su equipo de investigación.

La producción de equipos de deposición química de metales por vapores orgánicos o MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition), no se desarrolló hasta los años 80 del siglo pasado, limitando la capacidad de las compañías en la manufactura de células solares de arseniuro de galio. La primera compañía que manufacturó paneles solares en cantidades industriales, a partir de uniones simples de GaAs, con una eficiencia de AM0 (Air Mass Zero) del 17% fue la norteamericana ASEC (Applied Solar Energy Corporation). La conexión dual de la celda se produjo en cantidades industriales por ASEC en 1989, de manera accidental, como consecuencia de un cambio del GaAs sobre los sustratos de GaAs a GaAs sobre sustratos de germanio.

El dopaje accidental de germanio (Ge) con GaAs como capa amortiguadora creó circuitos de voltaje abiertos, demostrando el potencial del uso de los sustratos de germanio como otras celdas. Una celda de uniones simples de GaAs llegó al 19% de eficiencia AM0 en 1993. ASEC desarrolló la primera celda de doble unión para las naves espaciales usadas en los EEUU, con una eficiencia de un 20% aproximadamente.

Estas celdas no usan el germanio como segunda celda, pero usan una celda basada en GaAs con diferentes tipos de dopaje. De manera excepcional, las células de doble unión de GaAs pueden llegar a producir eficiencias AM0 del orden del 22%. Las uniones triples comienzan con eficiencias del orden del 24% en el 2000, 26% en el 2002, 28% en el 2005, y han llegado, de manera corriente al 30% en el 2007. En 2007, dos compañías norteamericanas Emcore Photovoltaics y Spectrolab, producen el 95% de las células solares del 28% de eficiencia.

2.1.5.2. Las distintas generaciones de células fotovoltaicas

Breve introducción sobre la física de los semiconductores

En una muestra de metal, los electrones exteriores de sus átomos, denominados electrones de valencia pueden moverse libremente. Se dice que están deslocalizados en regiones del espacio que ocupan toda la red cristalina, como si de una malla se tratase. En términos energéticos esto quiere decir que los electrones de la última capa del átomo ocupan niveles de energía altos que les permite escaparse del enlace que les une a su átomo.

El conjunto de estos niveles, muy próximos unos de otros, forman parte de la llamada banda de conducción (en adelante BC). Esta banda está formada, además, por niveles de energía vacíos y es, precisamente, la existencia de estos niveles vacíos la que permite que los electrones puedan saltar a ellos cuando se les pone en movimiento, al aplicar un campo eléctrico. Precisamente esta circunstancia permite que los metales sean conductores de la electricidad.

Los demás electrones del átomo, con energías menores, forman la banda de valencia (BV). La distancia entre ambas bandas, en términos de energía, es nula. Ambas bandas se solapan de manera que los electrones de la BV con más energía se encuentran, también, en la BC.

En las sustancias aislantes, la BC está completamente vacía porque todos los electrones, incluidos los de la última capa están ligados al átomo, tienen una energía más baja, y por lo tanto se encuentran en la banda de valencia, y además la distancia entre las bandas (se denomina a esta distancia energética banda

prohibida, o gap) es bastante grande, con lo que les es muy difícil saltar a la BC. Como la BV está llena, los electrones no pueden moverse y no puede haber corriente eléctrica al aplicar un voltaje entre los extremos del aislante.

En los semiconductores, las bandas de valencia y conducción presentan una situación intermedia entre la que se da en un conductor y la que es normal en un aislante. La BC tiene muy pocos electrones. Esto es debido a que la separación que hay entre la BV y la BC no es nula, pero sí pequeña. Así se explica que los semiconductores aumentan su conductividad con la temperatura, pues la energía térmica suministrada es suficiente para que los electrones puedan saltar a la banda de conducción, mientras que los conductores la disminuyen, debido a que las vibraciones de los átomos aumentan y dificultan la movilidad de los electrones.

Lo interesante de los semiconductores es que su pequeña conductividad eléctrica es debida, tanto a la presencia de electrones en la BC, como a que la BV no está totalmente llena.

2.1.5.3. Las cuatro generaciones de células fotovoltaicas

La **primera generación** de células fotovoltaicas consistían en una gran superficie de cristal simple. Una simple capa con unión diodo p-n, capaz de generar energía eléctrica a partir de fuentes de luz con longitudes de onda similares a las que llegan a la superficie de la Tierra provenientes del Sol. Estas células están fabricadas, usualmente, usando un proceso de difusión con obleas de silicio (véase la figura 2.16). Esta primera generación (conocida también como células solares basadas en oblea) son, actualmente, (2007) la tecnología dominante en la producción comercial y constituyen, aproximadamente, el 86% del mercado de células solares terrestres.

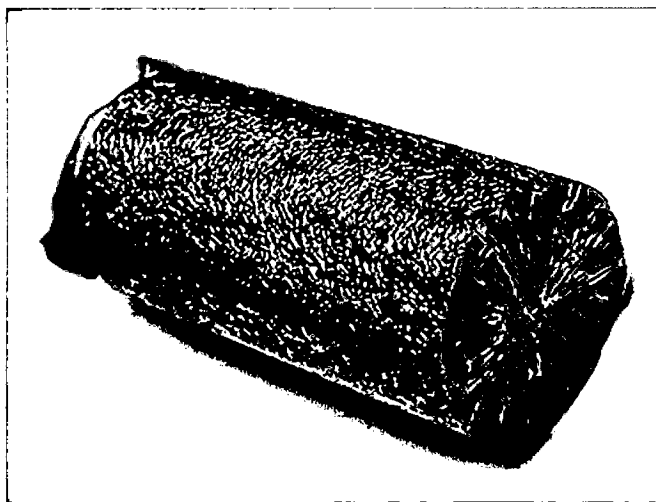


Figura 2.17. Barra de silicio policristalino.

La **segunda generación** de materiales fotovoltaicos se basan en el uso de depósitos epitaxiales muy delgados de semiconductores sobre obleas con concentradores. Hay dos clases de células fotovoltaicas epitaxiales: las espaciales y las terrestres. Las células espaciales, usualmente, tienen eficiencias AM0 (Air Mass Zero) más altas (28-30%), pero tienen un costo por vatio más alto. En las terrestres la película delgada se ha desarrollado usando procesos de bajo coste, pero tienen una eficiencia AM0 (7-9%), más baja, y, por razones evidentes, se cuestionan para aplicaciones espaciales.

Las predicciones antes de la llegada de la tecnología de película delgada apuntaban a una considerable reducción de costos para células solares de película delgada. Reducción que ya se ha producido. Actualmente (2007) hay un gran número de tecnologías de materiales semiconductores bajo investigación para la producción en masa. Se pueden mencionar, entre estos materiales, al silicio amorfo, silicio policristalino, silicio microcristalino, telururo de cadmio y sulfuros y seleniuros de indio. Teóricamente, una ventaja de la tecnología de película delgada es su masa reducida, muy apropiada para paneles sobre materiales muy ligeros o flexibles. Incluso materiales de origen textil.

La llegada de películas delgadas de Ga y As para aplicaciones espaciales (denominadas células delgadas) con potenciales de eficiencia AM0 por encima del 37% están, actualmente, en estado de desarrollo para aplicaciones de elevada potencia específica. La segunda generación de células solares constituye un

pequeño segmento del mercado fotovoltaico terrestre, y aproximadamente el 90% del mercado espacial.

La **tercera generación** de células fotovoltaicas que se están proponiendo en la actualidad (2007) son muy diferentes de los dispositivos semiconductores de las generaciones anteriores, ya que realmente no presentan la tradicional unión p-n para separar los portadores de carga fotogenerados. Para aplicaciones espaciales, se están estudiando dispositivos de huecos cuánticos (puntos cuánticos, cuerdas cuánticas, etc.) y dispositivos que incorporan nanotubos de carbono, con un potencial de más del 45% de eficiencia AM0. Para aplicaciones terrestres, se encuentran en fase de investigación dispositivos que incluyen células fotoelectroquímicas, células solares de polímeros, células solares de nanocristales y células solares de tintas sensibilizadas.

Una hipotética **cuarta generación** de células solares consistiría en una tecnología fotovoltaica compuesta en las que se mezclan, conjuntamente, nanopartículas con polímeros para fabricar una capa simple multiespectral. Posteriormente, varias capas delgadas multiespectrales se podrían apilar para fabricar las células solares multiespectrales definitivas. Células que son más eficientes, y baratas. Basadas en esta idea, y la tecnología multiunión, se han usado en las misiones de Marte que ha llevado a cabo la NASA. La primera capa es la que convierte los diferentes tipos de luz, la segunda es para la conversión de energía y la última es una capa para el espectro infrarrojo. De esta manera se convierte algo del calor en energía aprovechable. El resultado es una excelente célula solar compuesta. La investigación de base para esta generación se está supervisando y dirigiendo por parte de la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) para determinar si esta tecnología es viable o no. Entre las compañías que se encuentran trabajando en ésta cuarta generación se encuentran Xsunx, Konarka Technologies, Inc., Nanosolar, Dyesol y Nanosys.

2.1.5.4. Principios teóricos de funcionamiento: explicación simplificada

- Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio.

- Los electrones, subpartículas atómicas que forman parte del exterior de los átomos, y que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados.

Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad. Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones, (parecidas a burbujas de carga positiva) se denominan huecos y fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar.

Se ha de comentar que, así como el flujo de electrones corresponde a cargas reales, es decir, cargas que están asociadas a desplazamiento real de masa, los huecos, en realidad, son cargas que se pueden considerar virtuales puesto que no implican desplazamiento de masa real.

Un conjunto de paneles solares transforman la energía solar (energía en forma de radiación y que depende de la frecuencia de los fotones) en una determinada cantidad de corriente continua, también denominada DC (acrónimo del inglés Direct Current y que corresponde a un tipo de corriente eléctrica que se describe como un movimiento de cargas en una dirección y un sólo sentido, a través de un circuito. Los electrones se mueven de los potenciales más bajos a los más altos).

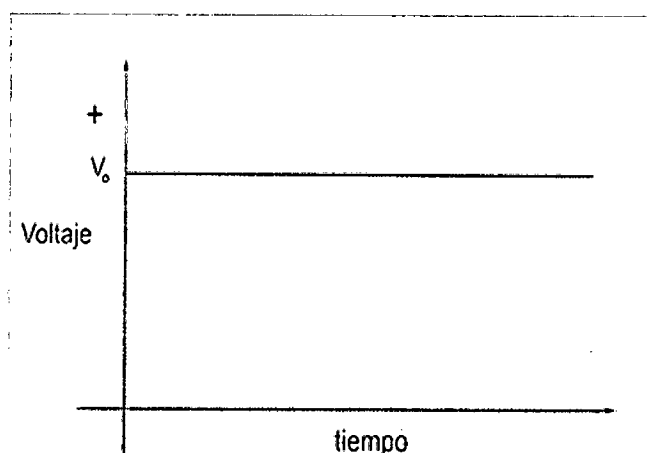


Figura 2.18. Representación de la diferencia de potencial o voltaje respecto al tiempo.

Opcionalmente:

- La corriente continua se lleva a un circuito electrónico conversor (inverter) que transforma la corriente continua en corriente alterna, (AC) (tipo de corriente disponible en el suministro eléctrico de cualquier hogar) de 120 o 240 voltios.
- La potencia de AC entra en el panel eléctrico de la casa.
- La electricidad generada se distribuye, casi siempre, a la línea de distribución de los dispositivos de iluminación de la casa, ya que estos no consumen excesiva energía, y son los adecuados para que funcionen correctamente con la corriente generada por el panel.
- La electricidad que no se usa se puede enrutar y usar en otras instalaciones.

2.1.5.5. Fotogeneración de portadores de carga

Cuando un fotón llega a una pieza de silicio, pueden ocurrir tres acontecimientos:

- El fotón puede pasar a través del material de silicio sin producir ningún efecto, esto ocurre, generalmente para fotones de baja energía.
- Los fotones pueden ser reflejados al llegar a la superficie del panel, y son expulsados de este.
- El fotón es absorbido por el silicio, en cuyo caso puede ocurrir:
 - Generar calor
 - Producir pares de electrones-huecos, si la energía del fotón incidente es más alta que la mínima necesaria para que los electrones liberados lleguen a la banda conducción.

Nótese que si un fotón tiene un número entero de veces el salto de energía para que el electrón llegue a la banda de conducción, podría crear más de un único par electrón-hueco. No obstante, este efecto no es significativo, de manera usual,

en las células solares. Este fenómeno, de múltiples enteros, es explicable mediante la mecánica cuántica y la cuantización de la energía.

Cuando se absorbe un fotón, la energía de este se comunica a un electrón de la red cristalina. Usualmente, este electrón está en la banda de valencia, y está fuertemente vinculado en enlaces covalentes que se forman entre los átomos colindantes. El conjunto total de los enlaces covalentes que forman la red cristalina da lugar a lo que se llama la banda de valencia. Los electrones pertenecientes a esa banda son incapaces de moverse más allá de los confines de la banda, a no ser que se les proporcione energía, y además energía determinada. La energía que el fotón le proporciona es capaz de excitarlo y promocionarlo a la banda de conducción, que está vacía y donde puede moverse con relativa libertad, usando esa banda, para desplazarse, a través del interior del semiconductor.

El enlace covalente del cual formaba parte el electrón, tiene ahora un electrón menos. Esto se conoce como hueco. La presencia de un enlace covalente perdido permite a los electrones vecinos moverse hacia el interior de ese hueco, que producirá un nuevo hueco al desplazarse el electrón de al lado, y de esta manera, y por un efecto de traslaciones sucesivas, un hueco puede desplazarse a través de la red cristalina. Así pues, se puede afirmar que los fotones absorbidos por el semiconductor crean pares móviles de electrones-huecos.

Un fotón solo necesita tener una energía más alta que la necesaria para llegar a los huecos vacíos de la banda de conducción del silicio, y así poder excitar un electrón de la banda de valencia original a dicha banda.

El espectro de frecuencia solar es muy parecido al espectro del cuerpo negro cuando este se calienta a la temperatura de 6000K y, por tanto, gran cantidad de la radiación que llega a la Tierra está compuesta por fotones con energías más altas que la necesaria para llegar a los huecos de la banda de conducción. Ese excedente de energía que muestran los fotones, y mucho mayor de la necesaria para la promoción de electrones a la banda de conducción, será absorbida por la célula solar y se manifestará en un apreciable calor (dispersado mediante

vibraciones de la red, denominadas fotones) en lugar de energía eléctrica utilizable.

- **Separación de los portadores de carga**

Hay dos modos fundamentales para la separación de portadores de carga en un célula solar:

- Movimiento de los portadores, impulsados por un campo electrostático establecido a través del dispositivo.
- Difusión de los portadores de carga de zonas de alta concentración de portadores a zonas de baja concentración de portadores (siguiendo un gradiente de potencial eléctrico).

En las células de unión p-n, ampliamente usadas en la actualidad, el modo que predomina en la separación de portadores es por la presencia de un campo electrostático. No obstante, en células solares en las que no hay uniones p-n (típicas de la tercera generación de células solares experimentales, como células de película delgada de polímeros o de tinta sensibilizada), el campo eléctrico electrostático parece estar ausente. En este caso, el modo dominante de separación es mediante la vía de la difusión de los portadores de carga

- **Generación de corriente en un placa convencional**

Los módulos fotovoltaicos funcionan, como se ha dejado entrever en el anterior apartado, por el efecto fotoeléctrico. Cada célula fotovoltaica está compuesta de, al menos, dos delgadas láminas de silicio. Una dopada con elementos con menos electrones de valencia que el silicio, denominada P y otra con elementos con más electrones que los átomos de silicio, denominada N.

Aquellos fotones procedentes de la fuente luminosa, que presentan energía adecuada, inciden sobre la superficie de la capa P, y al interactuar con el material liberan electrones de los átomos de silicio los cuales, en movimiento, atraviesan la capa de semiconductor, pero no pueden volver. La

capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a la P. Si se conectan unos conductores eléctricos a ambas capas y estos, a su vez, se unen a un dispositivo o elemento eléctrico consumidor de energía que, usualmente y de forma genérica se denomina carga, se iniciará una corriente eléctrica continua.

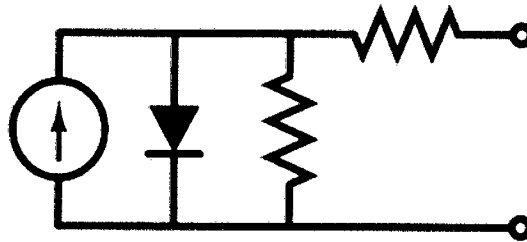


Figura 2.19. Esquema eléctrico de un panel fotovoltaico.

Este tipo de paneles producen electricidad en corriente continua y aunque su efectividad depende tanto de su orientación hacia el sol como de su inclinación con respecto a la horizontal, se suelen montar instalaciones de paneles con orientación e inclinación fija, por ahorros en mantenimiento. Tanto la inclinación como la orientación, al sur, se fija dependiendo de la latitud y tratando de optimizarla al máximo usando las recomendaciones de la norma ISO correspondiente.

- **La unión p-n**

La célula solar más usual está fabricada en silicio y configurada como un gran área de unión p-n. Una simplificación de este tipo de placas puede considerarse como una capa de silicio de tipo n directamente en contacto con una capa de silicio de tipo p. En la práctica, las uniones p-n de las células solares, no están hechas de la manera anterior, más bien, se elaboran por difusión de un tipo de dopante en una de las caras de una oblea de tipo p, o viceversa.

Si la pieza de silicio de tipo p es ubicada en íntimo contacto con una pieza de silicio de tipo n, tiene lugar la difusión de electrones de la región con altas concentraciones de electrones (la cara de tipo n de la unión) hacia la región de bajas concentraciones de electrones (cara tipo p de la unión).

Cuando los electrones se difunden a través de la unión p-n, se recombinan con los huecos de la cara de tipo p. Sin embargo, la difusión de los portadores no continúa indefinidamente. Esta separación de cargas, que la propia difusión crea, genera un campo eléctrico provocado por el desequilibrio de las cargas parando, inmediatamente, el flujo posterior de más cargas a través de la unión.

El campo eléctrico establecido a través de la creación de la unión p-n crea un diodo que permite el flujo de corriente en un solo sentido a través de dicha unión. Los electrones pueden pasar del lado de tipo n hacia el interior del lado p, y los huecos pueden pasar del lado de tipo p hacia el lado de tipo n. Esta región donde los electrones se han difundido en la unión se llama región de agotamiento porque no contiene nada más que algunos portadores de carga móviles. Es también conocida como la región de espacio de cargas.

2.1.5.6. Factores de eficiencia de una célula solar

- **Punto de máxima potencia**

Una placa o célula solar puede operar en un amplio rango de voltajes e intensidades de corriente. Esto puede lograrse variando la resistencia de la carga, en el circuito eléctrico, por una parte, y por la otra variando la irradiación de la célula desde el valor cero (valor de cortocircuito) a valores muy altos (circuito abierto) y se puede determinar el punto de potencia máxima teórica, es decir, el punto que maximiza V y tiempo frente a I , o lo que es lo mismo, la carga para la cual la célula puede entregar la máxima potencia eléctrica para un determinado nivel de radiación.

El punto de potencia máxima de un dispositivo fotovoltaico varía con la iluminación incidente. Para sistemas bastante grandes se puede justificar un incremento en el precio con la inclusión de dispositivos que midan la potencia instantánea por medida continua del voltaje y la intensidad de corriente (y de ahí la potencia transferida), y usar esta información para ajustar, de manera dinámica, y en tiempo real, la carga para que se transfiera, siempre, la máxima potencia posible, a pesar de las variaciones de luz, que se produzcan durante el día.

- **Eficiencia en la conversión de energía**

La eficiencia de una célula solar (η , "eta"), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda irradiancia (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula solar (A_c en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

La STC especifica una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1000 W/m^2 con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de $41,81^\circ$ sobre la horizontal.

Esta condición representa, aproximadamente, la posición del sol de mediodía en los equinoccios de primavera y otoño en los estados continentales de los EEUU con una superficie orientada directamente al sol. De esta manera, bajo estas condiciones una célula solar típica de 100 cm^2 , y de una eficiencia del 12%, aproximadamente, se espera que pueda llegar a producir una potencia de 1,2 vatios.

- **Factor de llenado**

Otro término para definir la eficacia de una célula solar es el *factor de llenado* o *fill factor (FF)*, que se define como la relación entre el máximo punto de potencia dividido entre el *voltaje en circuito abierto* (V_{oc}) y la *corriente en cortocircuito* I_{sc} :

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

2.1.5.7. Potencia y costes

En un día soleado, el Sol irradia alrededor de 1 kW/m^2 a la superficie de la Tierra. Considerando que los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia típica entre el 12%-25%, esto supondría una producción aproximada de entre $120\text{-}250 \text{ W/m}^2$ en función de la eficiencia del panel fotovoltaico.

Por otra parte, están produciéndose grandes avances en la tecnología fotovoltaica y ya existen paneles experimentales con rendimientos superiores al 40%.

A latitudes medias y septentrionales, teniendo en cuenta el ciclo diurno y las condiciones atmosféricas, llegan a la superficie terrestre 100 W/m^2 de media en invierno y 250 W/m^2 en verano. Con una eficiencia de conversión de, aproximadamente, 12%, se puede esperar obtener 12 y 30 vatios por metro cuadrado de celda fotovoltaica en invierno y verano, respectivamente.

Con los costes actuales de energía eléctrica, $0.08 \text{ \$/kWh}$ (USD), un metro cuadrado generará hasta $0.06 \text{ \$/día}$, y un km^2 generará hasta 30 MW, o $50,000 \text{ \$/km}^2\cdot\text{día}$). Para comparar, el Sahara despoblado se extiende por 9 millones de km^2 , con menos nubes y un mejor ángulo solar, pudiendo generar hasta 50 MW/km^2 , o 450 TW (teravatio) en total. El consumo de energía actual de la población terrestre está cercano a $12\text{-}13 \text{ TW}$ en cualquier momento dado (incluyendo derivados del petróleo, carbón, energía nuclear e hidroeléctrica).

El verdadero problema con los paneles fotovoltaicos es el coste de la inversión, como se puede ver en el artículo sobre la ganancia neta de energía, requiriendo hasta más de 10 años (de una vida útil de 40 años o más) para recuperar el coste inicial y generar ganancias. El precio actual de los módulos fotovoltaicos, oscila entre los 3.5 y los $5.0 \text{ \$/W}$ (USD), de capacidad de producción, en función de la cantidad que se compre y la procedencia. Los más baratos vienen de China y se debe ser muy prudente con la calidad y garantías de los mismos. El precio de $8 \text{ \$/W}$, aunque algo barato, es el precio completo de una instalación fija: módulos, estructuras de soporte, onduladores, protecciones, sistemas de medición, costes del proyecto, instalación y permisos administrativos. Un precio normal está entre 8.6 y $9.0 \text{ \$/W}$. Si la instalación es con seguidores de sol de dos ejes, el coste

puede rondar los 10.60 \$/W, aunque la producción eléctrica obtenida es del orden de un 30% superior que en una fija.

2.1.5.8. Fabricación de paneles convencionales

Generalmente se elaboran de silicio, el elemento que es el principal componente de la sílice, el material de la arena.

Actualmente, la producción mundial de células fotovoltaicas se concentra en Japón (48%), Europa (27%) y EEUU (11%). El consumo de silicio en 2004 destinado a aplicaciones fotovoltaicas ascendió a 13.000 toneladas.

En España las principales empresas instaladoras de paneles fotovoltaicos son T-Solar, Fotowatio, Renovalia y Solaria.

2.1.5.9. Aplicaciones

Deben su aparición a la industria aeroespacial, y se han convertido en el medio más fiable de suministrar energía eléctrica a un satélite o a una sonda en las órbitas interiores del Sistema Solar. Esto es gracias a la mayor irradiación solar sin el impedimento de la atmósfera y a su bajo peso.

En tierra, son la fuente solar más popular en instalaciones pequeñas o en edificios, frente al método de campos de espejos heliostatos empleados en las grandes centrales solares.

Junto con una pila auxiliar, se usa habitualmente en ciertas aplicaciones de poco consumo como boyas o aparatos en territorios remotos, o simplemente cuando la conexión a una central de energía sea impracticable. Su utilización a gran escala se ve restringida por su alto coste, tanto de compra como de instalación. Hasta ahora, los paneles fotovoltaicos ocupan una pequeña porción de la producción mundial de energía.

Experimentalmente han sido usados para dar energía a automóviles, por ejemplo en el *World solar challenge* a través de Australia. Muchos yates y vehículos terrestres los usan para cargar sus baterías lejos de la red eléctrica. Programas de incentivo a gran escala, ofreciendo recompensas financieras como la posibilidad de vender el exceso de electricidad a la red pública, han acelerado en gran

medida el avance de las instalaciones de celdas fotovoltaicas solares en España, Alemania, Japón, Estados Unidos y otros países.

La experiencia en producción e instalación, los avances tecnológicos que aumentan la eficiencia de las celdas solares, las economías de escala en un mercado que crece un 40% anualmente, unido a las subidas en los precios de los combustibles fósiles, hacen que las se empiece a contemplar la fotovoltaica para producción eléctrica de base, en centrales conectadas a red.

Actualmente muchos gobiernos del mundo (Alemania, Japón, EEUU, España, Grecia, Italia, Francia, entre otros) están subvencionando las instalaciones con un objetivo estratégico de diversificación y aumento de las posibilidades tecnológicas preparadas para crear electricidad de forma masiva. La gran mayoría de las instalaciones conectadas a red están motivadas por primas muy elevadas a la producción, pagándose al productor 5 o 6 veces el coste de la energía eléctrica generada por vías tradicionales, o mediante incentivos fiscales, lo que ha generado críticas desde grupos favorables a un mercado libre de generación eléctrica.

- Centrales conectadas a red con subvención a la producción.
- Estaciones repetidoras de microondas y de radio.
- Electrificación de pueblos en áreas remotas (Electrificación rural).
- Instalaciones médicas en áreas rurales.
- Corriente eléctrica para casas de campo.
- Sistemas de comunicaciones de emergencia.
- Sistemas de vigilancia de datos ambientales y de calidad del agua.
- Faros, boyas y balizas de navegación marítima.
- Bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado.

- Balizamiento para protección aeronáutica.
- Sistemas de protección catódica.
- Sistemas de desalinización.
- Vehículos de recreo.
- Señalización ferroviaria.
- Sistemas para cargar los acumuladores de barcos.
- Fuente de energía para naves espaciales.
- Postes SOS (Teléfonos de emergencia de carretera).
- Parquímetros.
- Recarga de Scooters Eléctricos



Figura 2.20. Paneles solares formados con módulos fotovoltaicos, Expo 2005 Aichi Japan, Japón.

2.1.6. Microcontroladores

Además de los sistemas de control, sería pertinente hablar de forma resumida del microcontrolador (Palacios y otros) que es el encargado, en muchos casos, del gobierno de actuadores (motores, bombas, válvulas, etc.), en un proceso de

control industrial, es así que este pequeño dispositivo puede realizar una tarea específica usando pocos elementos externos.

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de Entrada y Salida (Wikipedia 2010).

Son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular. Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación. El control de un electrodoméstico sencillo como una batidora, utilizará un procesador muy pequeño (4 u 8 bit) por que sustituirá a un autómata finito. En cambio un reproductor de música y/o vídeo digital (mp3 o mp4) requerirá de un procesador de 32 bit o de 64 bit y de uno o más Códec de señal digital (audio y/o vídeo). El control de un sistema de frenos ABS (Antilock Brake System) se basa normalmente en un microcontrolador de 16 bit, al igual que el sistema de control electrónico del motor en un automóvil.

Los microcontroladores representan la inmensa mayoría de los chips de computadoras vendidos, sobre un 50% son controladores "simples" y el restante corresponde a DSPs más especializados. Mientras se pueden tener uno o dos microprocesadores de propósito general en casa (Ud. está usando uno para esto), usted tiene distribuidos seguramente entre los electrodomésticos de su hogar una o dos docenas de microcontroladores. Pueden encontrarse en casi cualquier dispositivo electrónico como automóviles, lavadoras, hornos microondas, teléfonos, etc.

Un microcontrolador difiere de una CPU normal, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de chips externos de apoyo. La idea es que el chip se coloque en el dispositivo, enganchado a la fuente de energía y de información que necesite, y eso es todo. Un microprocesador tradicional no le permitirá hacer esto, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips. Hay que agregarle los módulos de entrada/salida (puertos) y la memoria para almacenamiento de información.

Por ejemplo, un microcontrolador típico tendrá un generador de reloj integrado y una pequeña cantidad de memoria RAM y ROM/EPROM/EEPROM/FLASH, significando que para hacerlo funcionar, todo lo que se necesita son unos pocos programas de control y un cristal de sincronización. Los microcontroladores disponen generalmente también de una gran variedad de dispositivos de entrada/salida, como convertidores de analógico a digital, temporizadores, UARTs y buses de interfaz serie especializados, como I²C y CAN. Frecuentemente, estos dispositivos integrados pueden ser controlados por instrucciones de procesadores especializados. Los modernos microcontroladores frecuentemente incluyen un lenguaje de programación integrado, como el BASIC que se utiliza bastante con este propósito.

Los microcontroladores negocian la velocidad y la flexibilidad para facilitar su uso. Debido a que se utiliza bastante sitio en el chip para incluir funcionalidad, como los dispositivos de entrada/salida o la memoria que incluye el microcontrolador, se ha de prescindir de cualquier otra circuitería.

2.1.6.1. Microcontroladores PIC

Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650 (véase la figura 2.21), originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

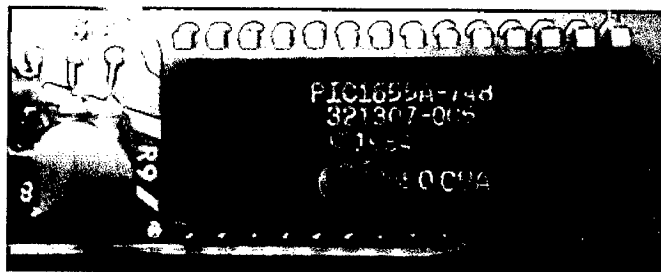


Figura 2.21. General Instrument PIC1650, imagen cortesía de wikipedia (<http://es.wikipedia.org>).

El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es **PICmicro**, aunque generalmente se utiliza como *Peripheral Interface Controller* (controlador de interfaz periférico).

El PIC original se diseñó para ser usado con la nueva unidad central de procesos de 16bits CP16000. Siendo en general una buena unidad central de procesos, ésta tenía malas prestaciones de Entrada/Salida, y el PIC de 8 bits se desarrolló en 1975 para mejorar el rendimiento del sistema quitando peso de Entrada/Salida a la unidad central de procesos. El PIC utilizaba microcódigo simple almacenado en una memoria ROM para realizar estas tareas; y aunque el término no se usaba por aquel entonces, se trata de un diseño RISC que ejecuta una instrucción cada 4 ciclos del oscilador.

En 1985 la división de microelectrónica de General Instrument se separa como compañía independiente que es incorporada como filial (el 14 de diciembre de 1987 cambia el nombre a Microchip Technology y en 1989 es adquirida por un grupo de inversores) y el nuevo propietario canceló casi todos los desarrollos, que para esas fechas la mayoría estaban obsoletos. El PIC, sin embargo, se mejoró con memoria EPROM (véase la figura 2.22) para conseguir un controlador con memoria programable. Hoy en día multitud de microcontroladores PIC vienen con varios periféricos incluidos (módulos de comunicación serie, UART, núcleos de control de motores, etc.) y con memoria de programa desde 512 a 32.000 palabras (una *palabra* corresponde a una instrucción en ensamblador, y puede ser 12, 14 o 16 bits, dependiendo de la familia específica de PICmicro).

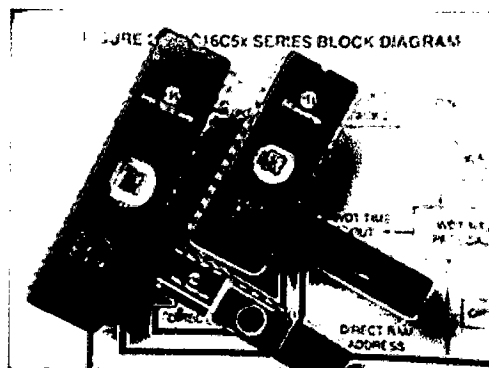


Figura 2.22. Variedad de microcontroladores PIC con memoria de programa EPROM, imagen cortesía de wikipedia (<http://es.wikipedia.org>).

2.1.6.2. Juego de instrucciones y entorno de programación

El microcontrolador PIC usa un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número de instrucciones puede variar, desde 35 para microcontroladores PIC de gama

baja a 70 para los PIC de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada.

Microchip proporciona un entorno de desarrollo freeware (software sin costo) llamado MPLAB que incluye un software de simulación y un ensamblador. Otras empresas desarrollan compiladores C y BASIC. Microchip también vende compiladores para los microcontroladores PIC de gama alta (compilador C18 para la serie F18 y compilador C30 para los dsPIC) y se puede descargar una edición para estudiantes del compilador C18 que inhabilita algunas opciones después de un tiempo de evaluación.

También existe un compilador que tiene como base el lenguaje BASIC, que se denomina PIC BASIC PRO, cuyo fabricante es microEngineering Labs, Inc (<http://www.melabs.com>) que ofrece un lenguaje amigable y fácil de usar.

2.1.6.3. Arquitectura central

La arquitectura del PIC es sumamente minimalista. Esta caracterizada por las siguientes prestaciones:

- Área de código y de datos separadas (Arquitectura Harvard).
- Un reducido número de instrucciones.
- La mayoría de las instrucciones se ejecutan en un solo ciclo de ejecución (4 ciclos de reloj).
- Un solo acumulador (W), cuyo uso (como operador de origen) es implícito (no está especificado en la instrucción).
- Todas las posiciones de la memoria RAM funcionan como registros de origen y/o de destino de operaciones matemáticas y otras funciones.
- Una pila de hardware para almacenar instrucciones de regreso de funciones.

- Una relativamente pequeña cantidad de espacio de datos direccionable (típicamente, 256 bytes), extensible a través de manipulación de bancos de memoria.
- El espacio de datos está relacionado con la unidad central de procesos, puertos, y los registros de los periféricos.
- El contador de programa esta también relacionado dentro del espacio de datos, y es posible escribir en él (permitiendo saltos indirectos).

A diferencia de la mayoría de otros procesadores, no hay distinción entre los espacios de memoria y los espacios de registros, ya que la memoria RAM cumple ambas funciones, y ésta es normalmente referida como archivo de registros o simplemente, registros.

2.1.6.4. Memoria RAM

Los microcontroladores PIC tienen una serie de registros que funcionan como una RAM de propósito general. Los registros de propósito específico para los recursos de hardware disponibles dentro del propio chip también están direccionados en la memoria RAM. La direccionabilidad de la memoria varía dependiendo de la línea de dispositivos, y todos los dispositivos PIC tienen algún tipo de mecanismo de manipulación de bancos de memoria que pueden ser usados para acceder a memoria adicional. Las series más recientes de dispositivos disponen de funciones que pueden cubrir todo el espacio direccionable, independientemente del banco de memoria seleccionado. En los dispositivos anteriores, esto debía lograrse mediante el uso del acumulador.

La memoria de datos externa no es directamente direccionable excepto en algunos microcontroladores PIC 18 de gran cantidad de pines.

2.1.6.5. Tamaño de palabra

El tamaño de palabra de los microcontroladores PIC es fuente de muchas confusiones. Todos los microcontroladores PIC (excepto los dsPIC) manejan datos en trozos de 8 bits, con lo que se deberían llamar microcontroladores de 8 bits. Pero a diferencia de la mayoría de las unidades centrales de proceso, el PIC

usa arquitectura Harvard, por lo que el tamaño de las instrucciones puede ser distinto del de la palabra de datos. De hecho, las diferentes familias de microcontroladores PIC usan tamaños de instrucción distintos, lo que hace difícil comparar el tamaño del código del PIC con el de otros microcontroladores. Por ejemplo, un microcontrolador tiene 6144 bytes de memoria de programa: para un PIC de 12 bits esto significa 4096 palabras y para uno de 16 bits, 3072 palabras.

2.1.6.6. Programación del microcontrolador PIC

Para transferir el código de un ordenador al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de microcontroladores PIC que Microchip distribuye hoy en día incorporan ICSP (*In Circuit Serial Programming*, programación serie incorporada) o LVP (*Low Voltage Programming*, programación a bajo voltaje), lo que permite programar el PIC directamente en el circuito. Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7 (En algunos modelos pueden usarse otros pines como el GP0 y GP1 o el RA0 y RA1) como reloj y datos y el MCLR para activar el modo programación aplicando un voltaje de 13 voltios. Existen muchos programadores de microcontroladores PIC, desde los más simples que dejan al software los detalles de comunicaciones, a los más complejos, que pueden verificar el dispositivo a diversas tensiones de alimentación e implementan en hardware casi todas las funcionalidades. Muchos de estos programadores complejos incluyen ellos mismos microcontroladores PIC preprogramados como interfaz para enviar las órdenes al PIC que se desea programar. Uno de los programadores más simples es el TE20, que utiliza la línea TX del puerto RS-232 como alimentación y las líneas DTR y CTS para mandar o recibir datos cuando el microcontrolador está en modo de programación. El software de programación puede ser el ICprog, muy común entre la gente que utiliza este tipo de microcontroladores. Entornos de programación basados en interpretes BASIC ponen al alcance de cualquiera proyectos que parecieran ser ambiciosos.

A continuación mostramos una serie de programadores, simuladores y emuladores:

Programadores:

- PICStart Plus (puerto serie y USB).
- Promate II (puerto serie).
- MPLAB PM3 (puerto serie y USB).
- ICD2 (puerto serie y USB).
- ICD3 (USB).
- PICKit 1 (USB).
- IC-Prog 1.06B.
- PICAT 1.25 (puerto USB2.0 para PICs y Atmel).
- WinPic 800 (puerto paralelo, serie y USB).
- PICKit 2 (USB).
- PICKit 3 (USB).

Simuladores:

- Proteus - ISIS.
- Tina.

Emuladores:

- ICE2000 (puerto paralelo, convertidor a USB disponible).
- ICE4000 (USB).

2.1.6.7. Características generales del microcontrolador PIC

Los microcontroladores PIC actuales vienen con una amplia gama de mejoras hardware incorporadas:

- Núcleos de procesador de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada.
- Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes.
- Puertos de Entrada/Salida (típicamente 0 a 5,5 voltios).
- Temporizadores de 8/16 bits.
- Periféricos serie síncronos y asíncronos: USART, UART.
- Conversores analógico/digital de 8-10-12 bits.
- Comparadores de tensión.
- Módulos de captura y comparación PWM.
- Controladores LCD.
- Periférico para comunicaciones I²C, SPI.
- Memoria EEPROM interna con duración de hasta un millón de ciclos de lectura/escritura.
- Periféricos de control de motores.
- Soporte de interfaz USB.
- Soporte de controlador CAN.

2.1.6.8. Variaciones del microcontrolador PIC

- **Microcontroladores PIC modernos**

Los viejos microcontroladores PIC con memoria PROM o EPROM se están renovando gradualmente por chips con memoria Flash. Así mismo, el juego de instrucciones original de 12 bits del PIC1650 y sus descendientes directos ha sido suplantado por juegos de instrucciones de 14 y 16 bits. Microchip todavía vende versiones PROM y EPROM de la

mayoría de los microcontroladores PIC para soporte de aplicaciones antiguas o grandes pedidos.

Se pueden considerar tres grandes gamas de microcontroladores PIC en la actualidad: Los básicos (*Linebase*), los de medio rango (*Mid Range*) y los de alto desempeño (*high performance*). Los PIC18 (véase la figura 2.23) son considerados de alto desempeño y tienen entre sus miembros a microcontroladores PIC con módulos de comunicación y protocolos avanzados (USB, Ethernet, Zigbee por ejemplo).

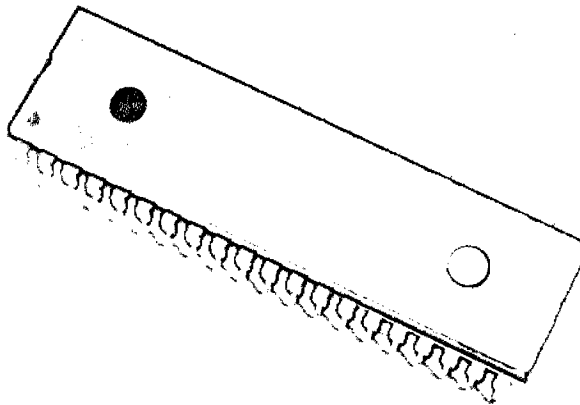


Figura 2.23. Microcontroladores PIC18F4550, imagen cortesía de Microsystems Engineering (<http://www.msebilbao.com>).

- **Clones del PIC**

Por todos lados surgen compañías que ofrecen versiones del PIC más baratas o mejoradas. La mayoría suelen desaparecer rápidamente. Una de ellas que va perdurando es Ubicom (antiguamente Scenix) que vende clones del PIC que funcionan mucho más rápido que el original. OpenCores tiene un núcleo del PIC16F84 escrito en Verilog.

- **Microcontroladores PIC wireless**

El microcontrolador rfPIC integra todas las prestaciones del PICmicro de Microchip con la capacidad de comunicación wireless UHF para aplicaciones RF de baja potencia. Estos dispositivos ofrecen un diseño muy comprimido para ajustarse a los cada vez más demandados

requerimientos de miniaturización en aparatos electrónicos. Aun así, no parecen tener mucha salida en el mercado.

- **Microcontroladores PIC para procesamiento de señal (dsPIC)**

Los microcontroladores dsPIC son el penúltimo lanzamiento de Microchip, comenzando a producirlos a gran escala a finales de 2004. Son los primeros microcontroladores PIC con bus de datos inherente de 16 bits. Incorporan todas las posibilidades de los anteriores microcontroladores PIC y añaden varias operaciones de procesamiento digital de señales implementadas en hardware, como multiplicación con suma de acumulador (*multiply-accumulate*), *barrel shifting*, *bit reversion* o multiplicación 16x16 bits. En la figura 2.25 se muestra una tarjeta para montar diversas aplicaciones basadas en el microcontrolador dsPIC de Microchip Technologies (<http://www.microchip.com>).

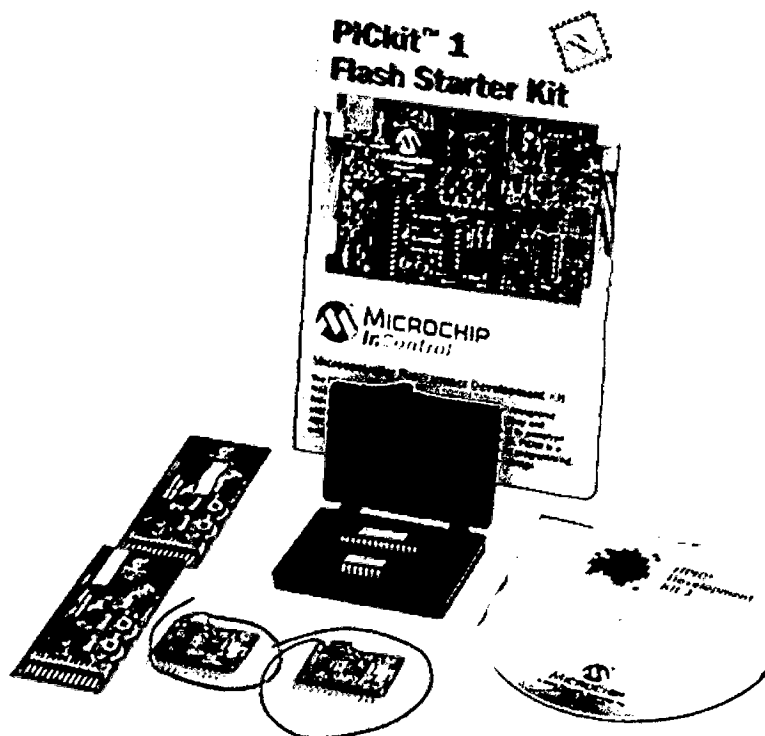


Figura 2.24. Muestra de *rfPIC Development Kit*, imagen cortesía de Microchip Technologies (<http://www.microchip.com>).

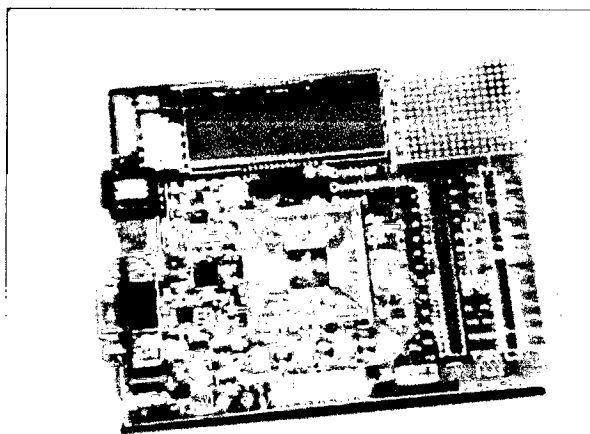


Figura 2.25. Imagen de la placa Explorer 16 Development Board de Microchip Technologies (<http://www.microchip.com>).

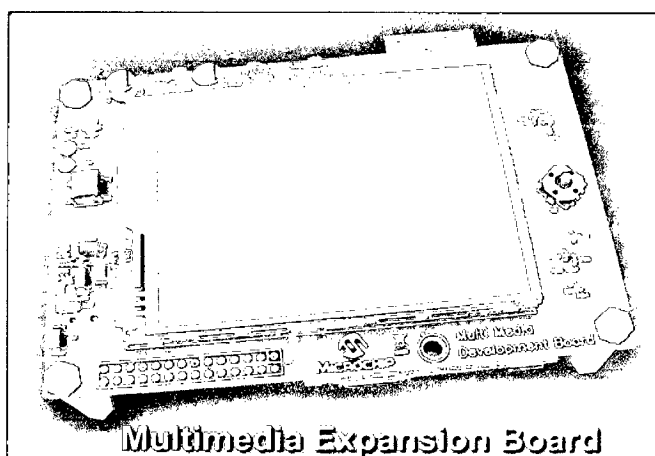


Figura 2.26. Imagen de la placa Multimedia Expansion Board de Microchip Technologies (<http://www.microchip.com>).

- **Microcontroladores PIC de 32 bits (PIC32)**

Microchip Technology lanzó en noviembre del 2007 los nuevos microcontroladores de 32 bits con capacidad HOST USB. Estos microcontroladores permiten un procesamiento de información increíble con un núcleo de procesador de tipo M4K. En la figura 2.26 se muestra una tarjeta de expansión para microcontroladores PIC de 32 bits.

2.1.7. GSM

El **sistema global para las comunicaciones móviles (GSM**, proviene del francés *groupe spécial mobile*) es un sistema estándar, libre de regalías, de telefonía móvil digital.

Un cliente GSM puede conectarse a través de su teléfono con su computador y enviar y recibir mensajes por e-mail, faxes, navegar por Internet, acceder con seguridad a la red informática de una compañía (LAN/Intranet), así como utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos, incluyendo el Servicio de Mensajes Cortos (SMS) o mensajes de texto.

GSM se considera, por su velocidad de transmisión y otras características, un estándar de segunda generación (2G). Su extensión a 3G se denomina UMTS y difiere en su mayor velocidad de transmisión, el uso de una arquitectura de red ligeramente distinta y sobre todo en el empleo de diferentes protocolos de radio (W-CDMA).



Figura 2.27: Logotipo para identificar los terminales y sistemas compatibles

2.1.7.1. Alcance mundial y porcentaje de uso

La Asociación GSM (GSMA o *GSM Association*), este estándar es el más extendido en el mundo, con un 82% de los terminales mundiales en uso. GSM cuenta con más de 3.000 millones de usuarios en 212 países distintos, siendo el estándar predominante en Europa, América del Sur, Asia y Oceanía, y con gran extensión en América del Norte.

La ubicuidad del estándar GSM ha sido una ventaja tanto para consumidores (beneficiados por la capacidad de itinerancia y la facilidad de cambio de operador sin cambiar de terminal, simplemente cambiando la tarjeta SIM) como para los operadores de red (que pueden elegir entre múltiples proveedores de sistemas GSM, al ser un estándar abierto que no necesita pago de licencias).

En GSM se implementó por primera vez el servicio de mensajes cortos de texto (SMS), que posteriormente fue extendido a otros estándares. Además, en GSM se define un único número de emergencias a nivel mundial, el 112, que facilita que los viajeros de cualquier parte del mundo puedan comunicar situaciones de emergencia sin necesidad de conocer un número local.

2.1.7.2. Frecuencias

El interfaz de radio de GSM se ha implementado en diferentes bandas de frecuencia tal como se muestra en la siguiente tabla:

Banda	Nombre	Canales	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Notas
GSM 850	GSM 850	128 - 251	824,0 - 849,0	869,0 - 894,0	Usada en los EE.UU., Sudamérica y Asia.
GSM 900	P-GSM 900	1-124	890,0 - 915,0	935,0 - 960,0	La banda con que nació GSM en Europa y la más extendida
	E-GSM 900	975 - 1023	880,0 - 890,0	925,0 - 935,0	E-GSM, extensión de GSM 900
	R-GSM 900	n/a	876,0 - 880,0	921,0 - 925,0	GSM ferroviario (GSM-R).
GSM1800	GSM 1800	512 - 885	1710,0 - 1785,0	1805,0 - 1880,0	
GSM1900	GSM 1900	512 - 810	1850,0 - 1910,0	1930,0 - 1990,0	Usada en Norteamérica, incompatible con GSM-1800 por solapamiento de bandas.

Tabla 2.2: Bandas de frecuencia.

2.1.7.3. Historia y desarrollo

El estándar GSM fue desarrollado a partir de 1982. En la conferencia de telecomunicaciones CEPT de ese año fue creado el grupo de trabajo *Groupe Spécial Mobile* o *GSM*, cuya tarea era desarrollar un estándar europeo de telefonía móvil digital. Se buscó evitar los problemas de las redes analógicas de telefonía móvil, que habían sido introducidos en Europa a fines de los años 1950, y no fueron del todo compatibles entre sí a pesar de usar, en parte, los mismos estándares. En el grupo GSM participaron 26 compañías europeas de telecomunicaciones.

En 1990 se finalizaron las especificaciones para el primer estándar *GSM-900*, al que siguió *DCS-1800* un año más tarde. En 1991 fueron presentados los

primeros equipos de telefonía GSM como prototipos. De manera paralela, se cambió el nombre del grupo a *Standard Mobile Group* (SMG) y las siglas GSM a partir de este momento se usaron para el propio estándar. En la figura 2.28 se muestran algunos equipos GSM.

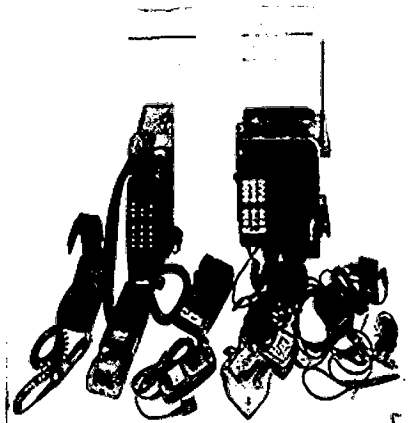


Figura 2.28: Los primeros equipos GSM en 1991.

En 1992 las primeras redes europeas de GSM-900 iniciaron su actividad, y el mismo año fueron introducidos al mercado los primeros teléfonos celulares GSM, siendo el primero el Nokia 1011 en noviembre de este año.^[3] En los años siguientes, el GSM compitió con otros estándares digitales, pero se terminó imponiendo también en América Latina y Asia.

En 2000, el grupo de trabajo para la estandarización del GSM se pasó al grupo TSG GERAN (*Technical Specification Group GSM EDGE Radio Access Network*) del programa de cooperación 3GPP, creado para desarrollar la tercera generación de telefonía móvil (3G). El sucesor del GSM, UMTS, fue introducido en 2001, sin embargo su aceptación fue lenta, por lo que gran parte de los usuarios de telefonía móvil en 2010 siguen utilizando GSM.

2.1.7.4. Tarjeta SIM

Una de las características principales del estándar GSM es el Módulo de Identidad del Suscriptor, conocida comúnmente como tarjeta SIM. La tarjeta SIM es una tarjeta inteligente desmontable que contiene la información de suscripción del usuario, parámetros de red y Directorio telefónico. Esto permite al usuario mantener su información después de cambiar su teléfono. Paralelamente, el usuario también puede cambiar de operador de telefonía,

manteniendo el mismo equipo simplemente cambiando la tarjeta SIM. Algunos operadores introducen un candado para que el teléfono utilice un solo tipo de tarjeta SIM, o sólo una tarjeta SIM emitida por la compañía donde se compro el teléfono, esta práctica se conoce como bloqueo de SIM, y es ilegal en algunos países.

En Australia, América del Norte y Europa, muchos operadores móviles bloquean los terminales que venden. Esto se hace porque el precio de la telefonía móvil es típicamente subvencionado con los ingresos procedentes de suscripciones, y los operadores para tratar de evitar subvencionar los móviles de la competencia pueden recurrir a esta práctica. Los abonados pueden ponerse en contacto con el operador, para eliminar el bloqueo o bien utilizar servicios privados para retirar el mismo, o hacer uso de software y sitios web para desbloquear el teléfono por sí mismos. Si bien la mayoría de los sitios web ofrecen el desbloqueo a un costo fijo, algunos lo hacen de manera gratuita. El bloqueo se aplica al teléfono, identificado por su identidad internacional del equipo móvil (IMEI) número y no a la cuenta (que se identifica con la tarjeta SIM).

En algunos países como Bangladesh, Bélgica, Costa Rica, Indonesia, Malasia, Hong Kong y Pakistán, se venden los teléfonos desbloqueados. Sin embargo, en Bélgica, es ilegal que los operadores ofrezcan cualquier forma de subvención en el precio del teléfono. Este fue también el caso en Finlandia hasta el 1 de abril de 2006, cuando la venta de combinaciones de teléfonos subvencionados y los números se convirtió en legal, aunque los operadores por obligación tienen que desbloquear los teléfonos de forma gratuita después de un período determinado (pudiendo ser un máximo de 24 meses). En Chile, se utilizan dos modalidades de proveer los terminales; Venta (principalmente para los abonados de prepago, aunque hay clientes de postpago que prefieren comprar el terminal) y Arriendo con opción de compra (modalidad muy difundida en la modalidad postpago, ya que el terminal resulta a un precio más económico); Todos los equipos se entregan bloqueados para operar solo con tarjetas sim de la operadora que vende el terminal, sin embargo por ley, las operadoras deben desbloquear gratuitamente los terminales que sean propiedad del abonado (modalidad venta, y una vez ejercida la opción de compra si se obtuvo en arriendo), si el abonado así lo solicita.

2.1.7.5. GSM en América latina

De acuerdo con las cifras suministradas por la organización 3G Americas, en Colombia el 89% de los celulares operan bajo el estándar GSM, mientras que en Argentina esta cifra llega al 97 % (al 2008 los operadores Movistar, Telecom Personal, y CLARO solo operan con GSM), en Chile (Primer país en Latinoamérica en operar redes GSM ya desde 1997) el 100% de los celulares operan bajo GSM, en México el 80%, en Brasil el 65%, en Uruguay 100% y en Venezuela Digitel al 100% puesto que fue el operador que empezó con esta tecnología, Movistar está en fase de ampliar al 100% su red GSM, y Movilnet operador estatal acaba de instalar GSM en todas sus estaciones bases y está en fases de prueba para funcionar en dualidad CDMA/GSM, países como Cuba que comenzó por TDMA, a partir de enero de 2009 emplea exclusivamente la tecnología GSM a través de la empresa estatal Cubacel.

2.1.8. Comandos AT

Los comandos AT son instrucciones codificadas que conforman el lenguaje de comunicación entre un usuario y un terminal módem y son de carácter genérico en su mayoría, ya que un mismo comando funciona en modelos de distintas marcas, haciendo que un programa basado en comandos AT sea inmensamente robusto y compatible con la mayor parte de los dispositivos disponibles en el mercado. La gran parte de los módems disponibles reconocen los comandos AT más utilizados. Por lo mismo, la tecnología GSM ha adaptado el uso de estos comandos, teniendo comandos específicos que pueden ser encontrados en documentación especializada sobre el módulo GSM. Dependiendo del módulo usado, es la implementación que se le da a los comandos y no depende del medio de comunicación, que puede ser serial, infrarrojo o Bluetooth.

2.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Con respecto a investigaciones realizadas en otros países sobre semáforos inteligentes, se encontró un artículo denominado Semáforos inteligentes reducen la contaminación y agilizan el tráfico escrito por Yaiza Martínez, donde describe

el principio de funcionamiento básico del semáforo inteligente, además del beneficio ecológico que éste provee al reducir las emisiones de CO₂. Otra investigación interesante es la de Harris (2004), en la cual muestra un estudio de tránsito para Panamá además de mostrar una propuesta de creación de una central de control de 180 semáforos.

También se encontró un proyecto de construcción de un semáforo escrito por Bueno (2007), aquí se puede encontrar con exactitud las medidas recomendadas para la construcción de un semáforo, además del detalle del montaje de éste en la vía pública.

2.3. ELABORACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las hipótesis indican lo que estamos buscando o tratando de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado, formulado manera de proposiciones (Hernández y otros 2003). En consecuencia, constituye el eje principal de orientación que debe contrastarse con la realidad estudiada.

En concordancia con la formulación del problema y el objetivo planteado, la hipótesis de investigación concreta a esta situación problemática, queda de la siguiente manera:

La utilización de las nuevas tecnologías de bajo consumo de energía como los diodos emisores de luz, así como los paneles solares y otros dispositivos, contribuirán al diseño de un sistema de semaforización inteligente para la avenida José de Lama de Sullana.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE ESTUDIO

De acuerdo con el propósito de la investigación, la naturaleza de la problemática y el objetivo formulado, la investigación será técnica. Según Velásquez y Rey este tipo de investigación tiene como finalidad la solución de problemas prácticos, lo cual implica intervención o modificación de la propia realidad; se pretende demostrar la utilidad de la intervención que se realizará.

El desarrollo de la presente investigación se basará en el método científico; el mismo que está conformado por una serie de actividades correctamente articuladas que conducen a un resultado con la propuesta de solución. Tales actividades son: problema nuevo para la ciencia, objetivos de la investigación, hipótesis de la investigación, variables, universo y muestra, técnicas e instrumentos, aplicación de los instrumentos, análisis de la información, contrastación de la hipótesis, formulación de conclusiones y recomendaciones (Caballero 2000).

Por responder más apropiadamente a la naturaleza y tipo de trabajo realizado, se ha seleccionado un diseño de *Investigación preexperimental*. Este diseño podría diagramarse de la siguiente manera:

G O1 X O2

Consiste en realizar una medición previa O1 en la unidades de análisis; administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después realizar una segunda medición en una o más variables para observar cuál es el nivel del grupo en estas variables, (Hernández y otros 2003).

G será en este caso un cruce en la avenida José de Lama donde se le aplicara el estímulo X (prototipo de semáforo inteligente) luego se medirá su eficiencia de las sistemas implementados y también la efectividad del nuevo sistema.

3.2. COBERTURA DEL ESTUDIO

3.2.1. Población

Para el desarrollo del presente estudio, en algunos de los índices, se ha considerado como unidad de análisis los componentes físicos y lógicos del sistema de semaforización Telecontrolado así como la vida útil de los dispositivos.

3.2.2. Muestra

La muestra básicamente se tomará gracias a los datos obtenidos del estudio de tráfico de la avenida José de Lama de Sullana donde se va a implementar el sistema.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.3.1. Técnicas

- Observación y análisis de tráfico vehicular.
- Técnicas de diseños de semaforización.

3.3.2. Instrumentos

- Guía de observación.
- Prototipo de semáforo telecontrolado

CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL PROYECTO

4.1.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

En ésta sección mostraremos que es lo que deseamos hacer para resolver la problemática y a la vez desarrollar nuestro prototipo. Como hemos visto en el capítulo 2, ya hemos visto como es un semáforo convencional, incluso hemos visto como es su evolución. Ahora veremos el diagrama de bloques del nuevo sistema de semaforización, que es el semáforo tele controlado (véase la figura 4.1).

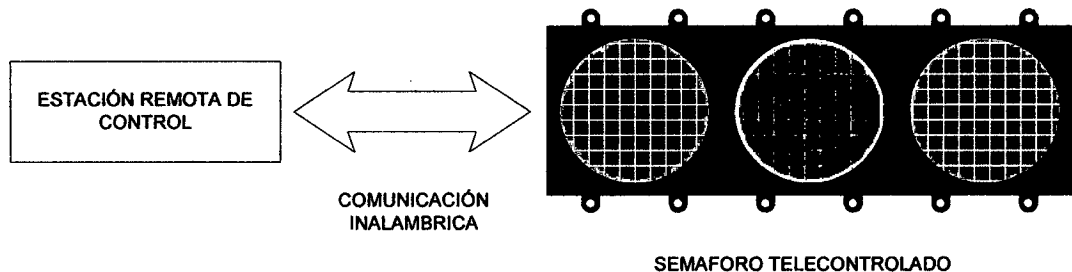


Figura 4.1. Diagrama de bloques del proyecto.

De acuerdo al diagrama de bloques que apreciamos en la figura 4.1, podemos apreciar tres bloques bien definidos que son: Estación remota de control, comunicación inalámbrica y semáforo telecontrolado.

En los siguientes párrafos describiremos las funciones de cada una de las partes del diagrama de bloques.

4.1.1.- Estación remota de control

La estación remota de control es la encargada de recibir la información proveniente de cada semáforo a través de comunicación GSM, ésta información será procesada por el operador y éste decidirá el mejor tiempo posible que se le dará a cada intersección. El control de los semáforos se hará desde aquí, es decir que prácticamente la estación remota de control será la estación central de tráfico de la ciudad.

La estación remota de control estará compuesta por un computador que contenga la interfaz adecuada para conectar ésta con un modem para la comunicación con los semáforos.

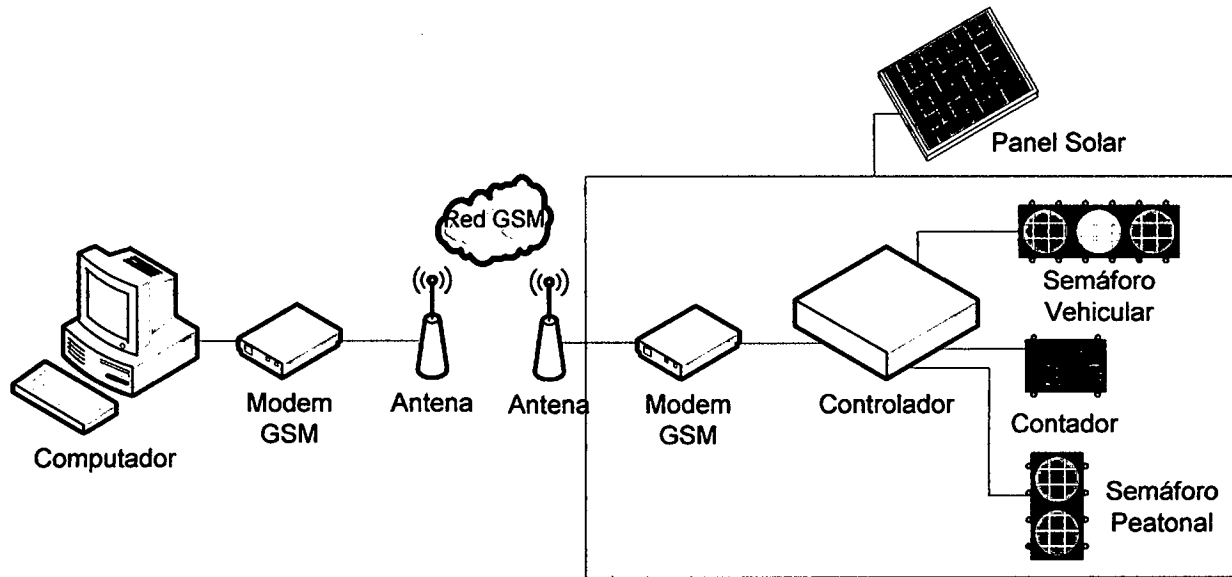


Figura 4.2. Diagrama de bloques del semáforo telecontrolado.

4.1.2.- Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica es vital en éste punto, ya que sería muy tedioso llevar desde cada semáforo un cable de control hacia la estación central, es por ello que se decidió en éste punto optar por un tipo de comunicación inalámbrica que tenga una buena cobertura en la ciudad. Es así que se pensó en un sistema de comunicación inalámbrica basado en tecnología GSM.

El dispositivo GSM deberá estar preparado para conectarse con el computador de la estación remota de control por un lado y una antena por el otro lado.

4.1.3.- Semáforo telecontrolado

El semáforo telecontrolado es aquel que se colocará en cada intersección, y no solo servirá para controlar el tráfico de manera convencional, sino mediante cámaras IP, serán monitoreados desde la estación remota de control para que desde este punto se decida los tiempos de cada indicador del semáforo. Además de ello se pretende utilizar tecnología de bajo consumo como la tecnología LED además de usar paneles solares para alimentar los equipos del semáforo.

El semáforo telecontrolado contará con un controlador que a su vez será conectado a los siguientes dispositivos: semáforo vehicular, semáforo peatonal, contador, y un sistema de alimentación basado en paneles solares.

En la figura 4.2 se muestra con mayor detalle el diagrama de bloques del semáforo telecontrolado.

A continuación se procederá al diseño de cada una de las partes del proyecto.

4.2.- DISEÑO DE LA ESTACIÓN REMOTA DE CONTROL

Como ya hemos visto en párrafos anteriores, la estación de control remota será la encargada de recoger los datos provenientes del semáforo y de acuerdo a éstos datos, el operador tomará una decisión. Como se puede observar en la figura 4.2, la estación remota de control está compuesta por:

- Un computador.
- Un modem GSM.

4.2.1.- Elección y selección del computador

El computador deberá ser capaz de tener la capacidad suficiente en disco duro para alojar los programas pertinentes, además de tener otras características tales como memoria RAM, velocidad de procesador, etc. que permitan el buen desenvolvimiento del software de supervisión y control.

Otra característica importante que también hay que tomar en cuenta es ¿cómo se va a comunicar el computador con el modem GSM?

Para resolver ésta interrogante se observa que la mayoría de los modem GSM, utilizan una interfaz RS-232 para comunicarse, es así que el computador que debamos elegir deberá tener por lo menos un puerto serie.

Vistas las características nos inclinamos a utilizar una computadora económica que cumpla de sobremanera las exigencias del sistema.

Hemos optado por el computador Compaq Presario serie CQ5517LA Desktop PC que en los siguientes párrafos detallaremos sus características.

4.2.1.1.- Computador de escritorio Compaq Presario serie CQ5517LA Desktop PC

El computador de escritorio Compaq Presario serie CQ5517LA Desktop PC cumple con las siguientes características de proveedor:

- **Sistema operativo:** Windows® 7 Home Basic original 64 bit.
- **Software incluido:** Microsoft® Office Home and Student Edition 2007 es una versión de prueba; su funcionalidad se reduce después de 60 días, Norton Internet Security 2010 (60 días de actualizaciones instantáneas de cortesía), Microsoft® Works 9.0, Restauration tools, PC Doctor.
- **Procesador:** Voltaje de salida regulada.
- **Chipset:** nVIDIA MCP61P.
- **Ranuras de memoria:** 2 conectores DIMM
- **Monitor:** Monitor LCD Compaq S1922a de 18,5 pulgadas de diagonal.
- **Dispositivo de tarjeta de memoria:** Lector de tarjetas de memoria 6 en 1.
- **Interfaz de red:** Ethernet 10/100 Mbps integrada.
- **Teclado:** Teclado USB Compaq.
- **Bahías de unidad externa:** 2 compartimentos para unidades ópticas externas; 2 compartimientos para unidades de disco duro internas.
- **Ranuras de expansión:** 1 PCI Express (x16), 2 PCI Express (x1), 1 PCI.
- **Puertos:** 6 puertos USB 2.0 (2 en la parte frontal); puerto frontal para audífonos; entrada para micrófono; Puerto VGA; Conexión de red; 3 puertos traseros para conectores de audio.
- **Peso del producto:** 9,75 kg.
- **Dimensiones del producto (Ancho x Profund. x Alto):** 177 x 428 x 389 mm.

- **Garantía:** 1 año de garantía limitada de hardware con asistencia telefónica gratuita, 1 año de soporte técnico gratuito para hardware.



Figura 4.3. Foto referencial del computador Compaq Presario serie CQ5517LA Desktop PC, cortesía de Hewlett Packard (www.hp.com).

4.2.2.- Modem GSM

El modem GSM es el que permitirá la comunicación entre la estación de control remota y el semáforo. Recordemos que el sistema global para las comunicaciones móviles (GSM) es un sistema estándar de comunicación inalámbrica. Por medio de esta red es posible el intercambio de información, principalmente de equipos móviles. Con ello es posible enviar o recibir tanto Voz, Datos y mensajería SMS que es lo que nosotros utilizaremos para nuestro proyecto.



Figura 4.4. Módulo Enfora modelo GSM1218.

Uno de los módulos encontrados en el mercado peruano y que es fácil de utilizar es el módulo Enfora modelo GSM1218, es por ello que lo seleccionamos y utilizaremos para nuestro proyecto.

4.2.2.1.- Características del modem Enfora modelo GSM1218

Estos módem tienen la capacidad de utilizar la red GSM para establecer comunicaciones de:

- Voz
- Datos
- SMS

En lo que respecta a las comunicaciones de datos, existen dos canales o formas de hacerlas:

- Comunicación punto a punto por medio de CSD (Circuit Switch Data)
- GPRS (General Packet Radio Service).

La llamada CSD, permite la conexión directa entre dos módulos, donde todo lo que se escriba en uno, se envía al otro y viceversa. La desventaja es que se necesita tiempo para conectarse y los datos se envían mientras se esté conectado. El cargo por servicio se realiza por tiempo de conexión. En una llamada GPRS, la conexión se realiza a través de Internet, y el cargo por servicio es por tráfico realizado, por lo que se puede estar todo el tiempo conectado, ahorrándose el tiempo en que necesita conectarse en cada sección, ya que sólo se conecta una vez y permanece así, y no como en una llamada CSD, donde la conexión debe realizarse cada vez que se mandan datos. La conexión por GPRS, permite la comunicación con cualquier página web o servidor de forma inalámbrica utilizando la red GSM de telefonía celular.

Para trabajar óptimamente con el módulo GSM se debe contar con lo siguiente:

- Cable serial para conexión a un PC
- Windows XP con hyperterminal o programa similar (sistema operativo depende de la conexión de la llamada GPRS, aquí sólo se detalla para Windows XP).

- Una tarjeta SIM con proveedor de servicio nacional.

Para la comunicación de la estación central hacia cada uno de los semáforos se realizará un enlace punto a punto, es decir se enviará un mensaje indicando los tiempos a cada uno de los semáforos de forma individual desde la estación central. Lo único que se tendría que habilitar en este punto es la empresa proveedora del servicio de telefonía celular, ya que en este caso la municipalidad tendría que hacer un convenio con una empresa de telecomunicaciones que le brinde el chip con capacidad de mensajería ilimitada.

4.3.- SEMÁFORO TELECONTROLADO

El semáforo telecontrolado es el que finalmente será visto por el usuario y será básicamente muy parecido a los semáforos convencionales con la distinción que tendrán tecnología LED tanto para el semáforo vehicular como para el peatonal, alimentación por panel solar y baterías, contador y un módulo de comunicación basado en tecnología GSM.

De acuerdo a lo que hemos visto en el párrafo anterior y en el diagrama de bloques de la figura 4.2, el semáforo telecontrolado consta de las siguientes partes:

- Semáforo vehicular
- Semáforo peatonal
- Contador
- Panel solar
- Módulo de comunicación GSM
- Controlador
- Etapas de potencia

A continuación diseñaremos cada una de las partes.

4.3.1.- Semáforo vehicular

De acuerdo a la investigación que se realizó respecto a los distintos tipos de semáforos vehiculares, se pudo determinar, que los diámetros de los focos LED de los semáforos varían, es así que por ejemplo se encontró semáforos con focos LED de 12cm de diámetro, así como de 20cm o 30cm de diámetro, siendo los más comunes éstos dos últimos. El tamaño del foco LED se tomará de acuerdo al lugar donde se desee colocar, por ejemplo dentro de una ciudad que tiene pistas no muy anchas y además la iluminación es óptima, se colocan semáforos con focos LED de 20cm. Los focos de 30cm se colocan en avenidas anchas y de mayor tráfico. Cabe resaltar que la luminosidad no varía en demasía, ya que la iluminación que ofrece el LED es óptima.

Para el presente proyecto, de acuerdo al prototipo propuesto, se diseñó un foco LED de 20cm de diámetro, considerando una conexión entre todos los LED en paralelo. La ventaja que ofrece colocar los LED en paralelo es que si algún LED se deteriora y no funciona, simplemente el foco LED seguirá funcionando sin problema alguno. En cambio si todos los LED estuvieran en serie, basta que uno se dañe para que todos dejen de funcionar.

El foco LED está conformado por 140 LED, y son independientemente de color rojo, ambar y verde.

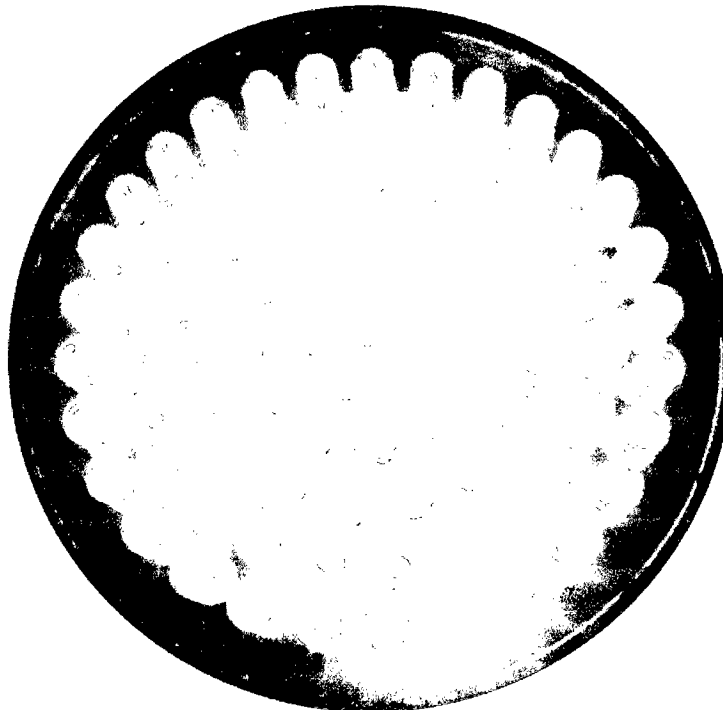


Figura 4.5. Foco LED de color rojo para semáforo vehicular.

Características del foco LED

Como se mencionó en párrafos anteriores, el foco LED está compuesto por un total de 140 diodos emisores de luz dispuestos en paralelo. Cada LED se activa con un voltaje de 2.5 voltios continuos a una corriente de 10 miliamperios.

4.3.2.- Semáforo peatonal

El semáforo peatonal estará conformado por dos luces: una verde y una roja, cada una de ellas basadas en tecnología LED. Las dimensiones estándar de estos focos LED son de 20cm o 30cm, dependiendo la ubicación, para nuestro prototipo elegimos diseñar focos LED de 20cm, prácticamente similares a los utilizados en el semáforo vehicular.

El foco LED está conformado por 140 LED, y son independientemente de color rojo, ámbar y verde.

Características técnicas del foco LED

Como se mencionó en párrafos anteriores, el foco LED está compuesto por un total de 140 diodos emisores de luz dispuestos en paralelo. Cada LED se activa con un voltaje de 2.5 voltios continuos a una corriente de 10 miliamperios. Éstas características hacen que el consumo de un foco LED sea de 3.5W aproximadamente.

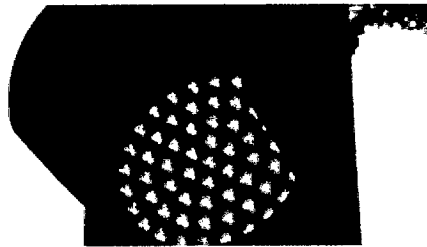


Figura 4.6. Foco LED de color verde para semáforo peatonal.

4.3.3.- Contador

El contador será otro de los dispositivos que se requiere en este semáforo, y tendrá como misión mostrar el tiempo que dura encendido cada luz del semáforo. Prácticamente consistirá en un contador decreciente, que muestra exactamente cuánto tiempo queda para que el semáforo cambie de color.

Características del contador

El contador diseñado para este fin tendrá las siguientes características:

- Contador de 2 dígitos.
- Dimensión de 20cmx20cm.
- Basado en tecnología LED.

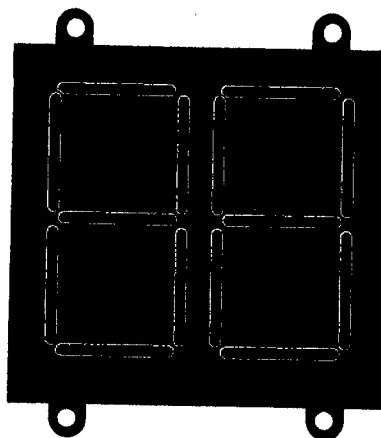


Figura 4.7. Visualizador de cuenta en color azul basado en tecnología LED.

El panel está conformado por un visualizador de 7 segmentos y cada segmento tiene 5 diodos emisores de luz dispuestos en paralelo. Se eligió para un diseño más cómodo, diodos de color azul que trabajan a un voltaje de 2.5V con una corriente de 10mA. Éstas características hacen que cada segmento consuma una potencia de 0.125W y cuando se encienden todos los segmentos consuma 0.875W aproximadamente.

4.3.4.- Panel solar fotovoltaico

El panel solar fotovoltaico será el encargado de capturar la energía solar y convertirla a energía eléctrica que cargará la batería para que ésta alimente al semáforo. El uso de energía renovable permitirá el ahorro de energía además de asegurar que el semáforo esté operativo si el suministro eléctrico cae por algún motivo. Otro factor importante para elegir éste tipo de energía renovable, es la de aprovechar la gran cantidad de horas de sol que tiene la ciudad de Sullana, para así alimentar nuestros semáforos.

Diseño del panel solar fotovoltaico

Para realizar el cálculo del panel a utilizar se tiene que ver el consumo total de los semáforos que se pondrán en funcionamiento. El resumen del consumo de cada equipo se coloca en la tabla 4.1.

Equipos	Potencia (W-h)	Cantidad	Total (W-h)
Foco LED	3.50	4.00	14.00
Contador LED	0.88	2.00	1.75
Tarjeta controladora	1.00	1.00	1.00
Total de W-h			21.75 (16.75)
Total + 15%			25.01 (19.26)

Tabla 4.1: Resumen del consumo de potencia de cada equipo.

El consumo en un día del semáforo es de 600.3W-h.

El día tiene aproximadamente 8 horas de sol, esto hace que el sistema debe cargarse en tan solo 8 horas. Esto hace que el panel a utilizar cargue por hora una potencia aproximada de **600.3W-h/8**, es decir **75.04W**. Cabe recalcar que ya se colocado un 15% adicional considerando desgastes de los equipos.

La batería tendría que ser de aproximadamente **600.3W**, para que almacene toda esta potencia en el día.

Visto estos datos y adicionando un porcentaje adicional de potencia de 15%, consideramos que la potencia del panel a utilizar debe ser de aproximadamente 86.29W-h y la batería solar deberá entregar 690.345W-día.

De acuerdo a las características que necesitamos se eligió el módulo fotovoltaico A-100P de Altersa (<http://www.altersa.com>). Éste módulo posee las siguientes características:

- Potencia: 100W.
- Corriente máxima: 6A.
- Tensión máxima: 17.55V.
- Peso aproximado: 9.6Kg.
- Dimensiones: 1.224m x 0.542m x 0.035.

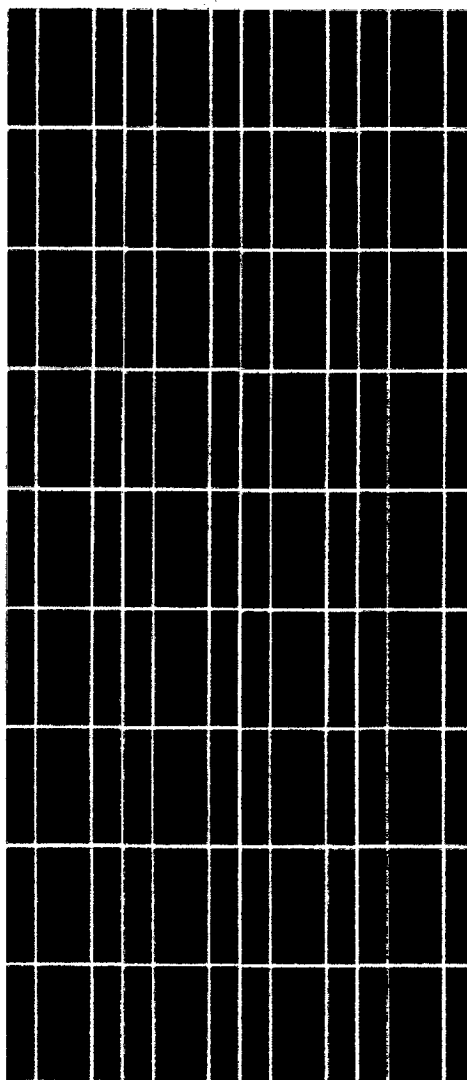


Figura 4.8. Panel fotovoltaico A-95P de Altersa.

Con respecto a la batería se utiliza una de 240AH Faam Heavy Line Top Monoblock que es una que excede los 182.51A-día que se necesita, ésta batería entrega 240A en total, es decir que entregaría un equivalente de 10A por hora.

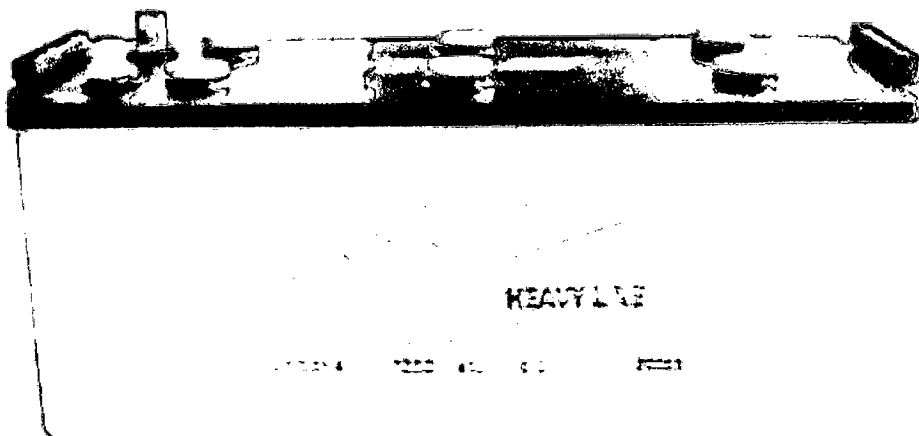


Figura 4.9. Batería de 240AH Faam Heavy Line Top Monoblock.

4.3.5.- Módulo de comunicación GSM

El módulo de comunicación GSM o simplemente modem GSM es el que permitirá la comunicación entre la estación de control remota y el semáforo, y para nuestro caso utilizaremos el mismo modelo de modem utilizado en la estación de control remota, es decir el Enfora modelo GSM1218.

4.3.6.- Controlador

El circuito controlador como su nombre lo dice es el encargado de controlar los semáforos vehiculares y peatonales así como los contadores, además es el encargado de controlar de acuerdo a un circuito de tiempo así como a través de la comunicación GSM.

La base de este controlador es un microcontrolador PIC que es ampliamente utilizado en diseño electrónico por su sencillez y fácil manipulación.

De acuerdo a las prestaciones del diseño del controlador se consideró básicamente dos etapas:

- Etapa de controlador de contadores y semáforos
- Etapa de controlador de tiempo y GSM.

En los siguientes párrafos detallaremos el funcionamiento de cada etapa de control.

Etapas de controlador de contadores y semáforos

En esta primera etapa se desarrolla el dispositivo de control para manipular adecuadamente los contadores y semáforos tanto peatonales como vehiculares.

Para esto se tiene que tomar en cuenta que el circuito deberá ser capaz de controlar los siguientes dispositivos:

- Dos semáforos vehiculares.
- Dos semáforos peatonales.
- Dos contadores de 2 dígitos.
- Comunicación con el GSM.
- Regulación de voltaje a 5 voltios para alimentación del circuito digital.

De acuerdo a las especificaciones antes descritas se proponen las siguientes soluciones:

- Para la manipulación de los semáforos vehiculares, se necesitan de por lo menos 3 salidas hacia cada uno de los semáforos vehiculares, es decir se necesitan 6 salidas. Para reducir significativamente el número de entradas se utilizará un circuito integrado 74139, que posee internamente dos decodificadores de 2 a 4, es así que se manipularán las 3 luces del semáforo tan solo manipulando dos salidas. Las salidas del decodificador son negadas (lógica invertida), es por ello que se coloca a la salida un circuito negador con la finalidad de obtener una lógica no invertida, luego para mantener un nivel lógico aceptable se utiliza un circuito separador 74245 que establecerá la salida a 5 voltios (1 lógico) o a 0 voltios (0 lógico). Véase la figura 4.10.
- Para la manipulación de los semáforos peatonales, se necesitan de por lo menos 2 salidas hacia cada uno de los semáforos peatonales, es decir se necesitan 2 salidas. Estas salidas están relacionadas directamente con el semáforo vehicular y también se debe tomar en cuenta que nunca la luz verde y la luz roja estarán encendidas a la vez, es por ello que para el

semáforo peatonal tan solo se necesita una salida que funcione en lógica negada y no negada. Esta salida al igual que el semáforo vehicular necesitará de un separador de tres estados para mantener un voltaje aceptable de 5 voltios. Véase la figura 4.11.

- Para el control de un contador de 2 dígitos, se necesita 4 salidas para controlar cada dígito, es decir se necesitarían 12 salidas para manipular en contador, debido a que se puede utilizar un circuito decodificador de BCD a 7 segmentos, en resumen se necesita de 24 salidas para manipular los dos contadores del semáforo. Cada salida del decodificador se deberá llevar hacia un separador de tres estados 74245. Véase la figura 4.12 y la figura 4.13.
- Para solucionar el problema de comunicación se puede utilizar los pines de comunicación serial y de repente un pin más para comunicar ésta tarjeta con la tarjeta de control de tiempo y GSM. Es así que se utilizarán los pines de comunicación C6 y C7 típicos de un microcontrolador PIC16F877A. Véase la figura 4.14.
- Para la regulación del voltaje a 5 voltios se utiliza un regulador 7805 para establecer un voltaje fijo de 5 voltios continuos como se muestra en la figura 4.15.

De acuerdo a estas soluciones se propone el microcontrolador PIC16F877A debido a la cantidad de entradas y salidas que utiliza ésta etapa. Véase la figura 4.16.

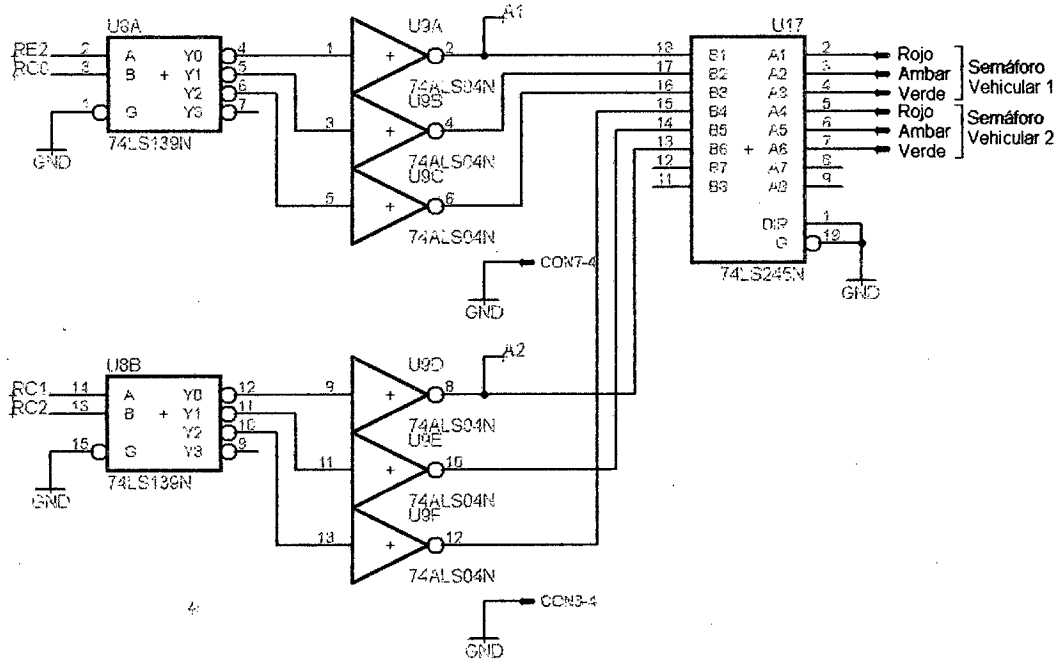


Figura 4.10. Circuito para control de semáforos vehiculares.

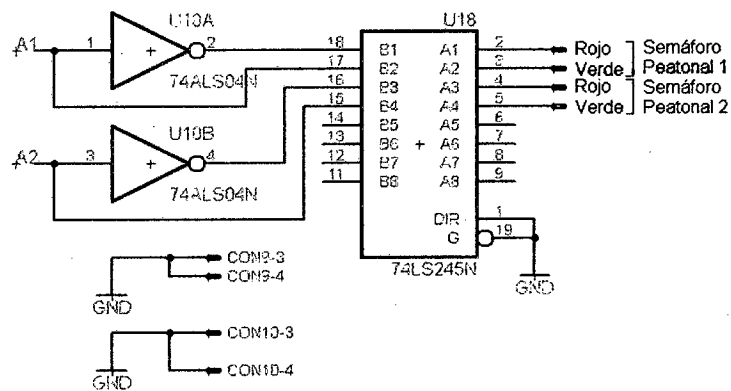


Figura 4.11. Circuito para control de semáforos peatonales.

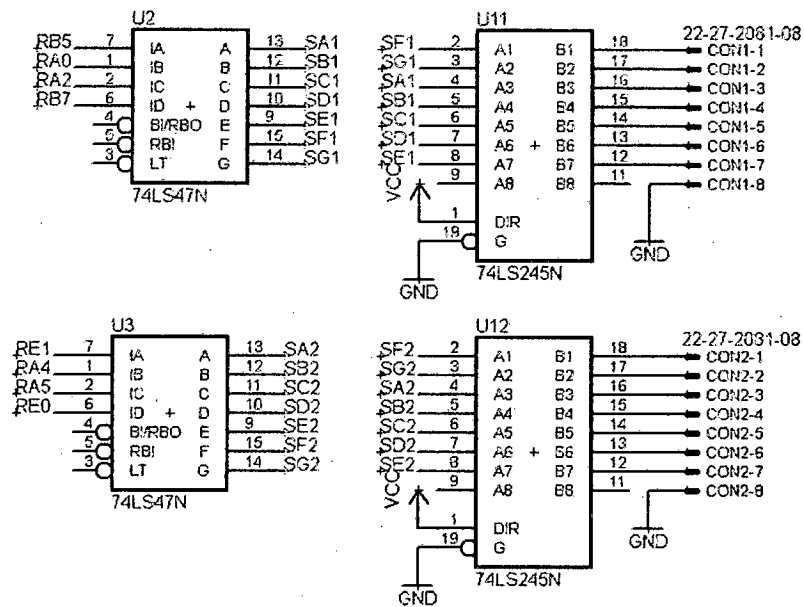


Figura 4.12. Circuito para controlar un contador de 2 dígitos.

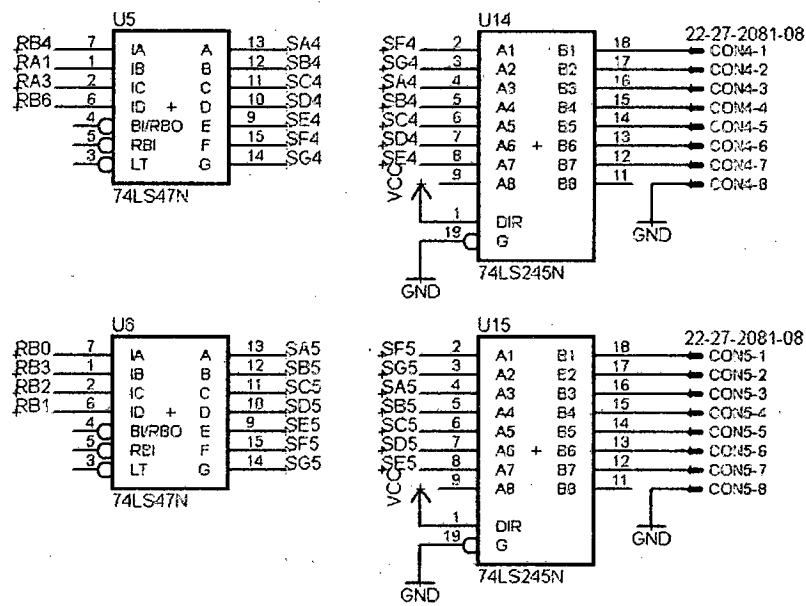
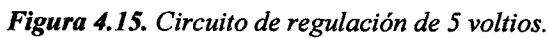


Figura 4.13. Circuito para controlar un contador de 2 dígitos.



Figura 4.14. Pines de comunicación con otra etapa.



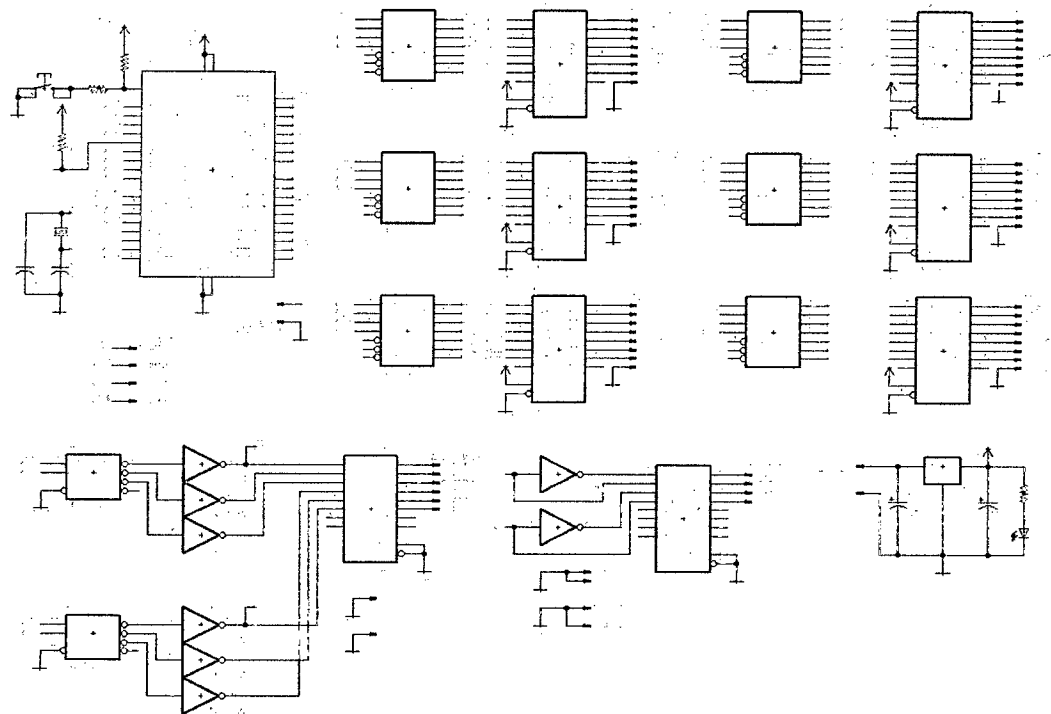


Figura 4.17. Circuito controlador de semáforos y contadores completo.

A continuación detallaremos los componentes necesarios para el diseño de la etapa de control de contadores y semáforos.

Microcontrolador PIC16F877A

El PIC16F877 es un microcontrolador de Microchip de la familia media y al igual que los demás miembros de su familia se caracteriza por:

- Su procesador es tipo RISC (35 instrucciones).
- Velocidad de operación de hasta 20MHz y 200ns por ciclo de instrucción.
- Memoria de programa Flash de 8k x 14 palabras.
- Modo sueño de ahorro de energía.
- Vías de entrada de lectura y escritura del procesador.
- Tiene una arquitectura HARVARD.

- Perro guardián *Timer* (WDT) con propio oscilador RC.
- La protección de código programable.

Además de las características anteriormente señaladas, se puede resaltar lo siguiente:

- Timer0: temporizador/contador de 8 bits con preescalador de 8 bits.
- Timer1: temporizador/contador de 16 bits con preescalador, puede ser incrementado durante el modo sueño por cristal o reloj externo.
- Timer2: temporizador/contador de 8 bits con registro de período de 8 bits, preescalador y postescalador.
- Dos módulos de captura, comparador, modulador por ancho de pulso (PWM).
- El convertidor multicanal de analógico a digital de 10 bits.
- *Synchronous Serial Port* (SSP) con SPI (*Serial Peripheral Interface*) e I2C (Maestro/Esclavo)
- USART.

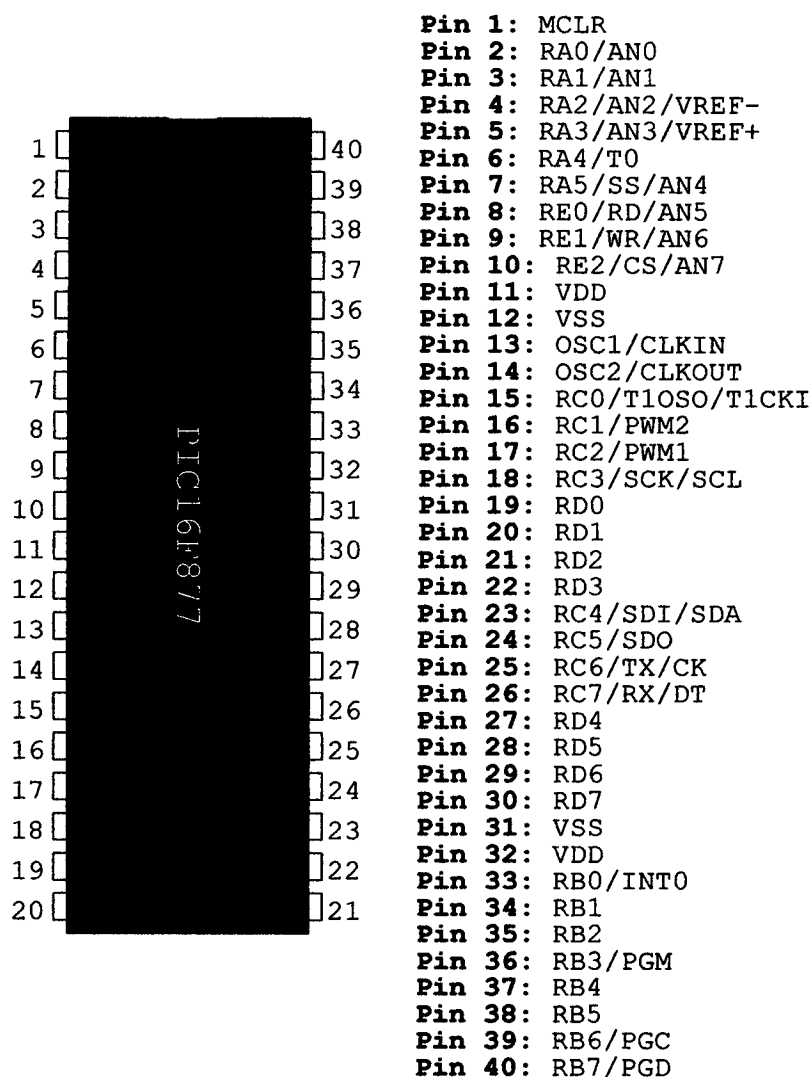


Figura 4.18. Microcontrolador PIC16F877.

El microcontrolador PIC16F877, como se ve en la figura 4.18, dispone de 40 pines. Los puertos son el puente entre el microcontrolador y el mundo exterior. Son líneas digitales y otras analógicas que trabajan entre cero y cinco voltios y se pueden configurar como entradas o como salidas. El PIC16F877 tiene cinco puertos. El puerto A con 6 líneas, el puerto B, C, D con 8 líneas y el puerto E con 3 líneas. Cada pin se puede configurar como entrada o como salida independiente programado por un par de registros diseñados para tal fin. En ese registro un "0" configura el pin del puerto correspondiente como salida y un "1" lo configura como entrada.

Puerto A

Puerto bidireccional o de Entrada/Salida (TTL) u otra función como:

- **A0/AN0** = Pin de entrada analógica 0 (AN0).
- **A1/AN1** = Pin de entrada analógica 1 (AN1).
- **A2/AN2/VREF -** = Pin de entrada analógica 2 (AN2) / voltaje de referencia negativo (VREF-).
- **A3/AN3/VREF+** = Pin de entrada analógica 3 (AN3) / voltaje de referencia positivo (VREF+).
- **A4/T0CK1** = Pin de Entrada/Salida o entrada de Reloj Externo para el TMR0 (T0CK1), cuando este pin se configura como salida es de tipo *Open Drain* (ST), cuando funciona como salida se debe conectar a VCC (+5V) a través de una resistencia.
- **A5/AN4/SS** = Pin de entrada analógica 4 (AN4) / esclavo para puerto serial asíncrono (SS).

Puerto B

Puerto bidireccional o de Entrada/Salida (TTL) u otra función como:

- **B0/INT** = Pin de Entrada/Salida (TTL/ST) / entrada de interrupción externa (INT).
- **B1** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **B2** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **B3/PGM** = Pin de Entrada/Salida (TTL) / entrada de programación de bajo voltaje (PGM).
- **B4** = Pin de Entrada/Salida con Interrupción por cambio de Flanco (TTL).

- **B5** = Pin de Entrada/Salida con Interrupción por cambio de Flanco (TTL).
- **B6/PGC** = Pin de Entrada/Salida con Interrupción por cambio de Flanco (TTL/ST) / Reloj de programación serial (PGC). Entrada de alta velocidad.
- **B7/PGD** = Pin de Entrada/Salida con Interrupción por cambio de Flanco (TTL/ST) / Reloj de programación serial (PGD). Entrada de alta velocidad.

Puerto C

Puerto bidireccional o de Entrada/Salida (TTL), entrada de alta velocidad, u otra función como:

- **C0/T1OSO/T1CK1** = Pin de salida de oscilador (T1OSO) / temporizador de entrada (T1CK1).
- **C1/T1OSI/CCP2** = Pin de entrada de oscilador (T1OSI) / entrada de captura 2 / salida de comparación 2 (CCP2) / salida por ancho de pulso 2 (PWM).
- **C2/CCP1** = Pin de entrada de captura 1, salida de comparación 1 (CCP1) / salida por ancho de pulso 1 (PWM).
- **C3/SCK/SCL** = Pin de entrada serial síncrona de reloj (SCK) / salida de reloj para modos SPI y I²C (SCL).
- **C4/SDI/SDA** = Pin de entrada de dato en SPI (SDI) / de entrada/salida de dato en I²C (SDA).
- **C5/SDO** = Pin de salida de dato en SPI (SDO).
- **C6/TX/CK** = Pin usado como USART transmisión asíncrona (TX) / reloj síncrono (CK).

- **C7/RX/DT** = Pin usado como USART recepción asíncrona (RX) / datos síncronos (DT).

Puerto D

Puerto bidireccional o de Entrada/Salida (TTL), o puerto paralelo esclavo para interactuar con un bus de un microprocesador:

- **D0/PSP0** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **D1/PSP1** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **D2/PSP2** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **D3/PSP3** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **D4/PSP4** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **D5/PSP5** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **D6/PSP6** = Pin de Entrada/Salida (TTL).
- **D7/PSP7** = Pin de Entrada/Salida (TTL).

Puerto E

Puerto bidireccional o de Entrada/Salida (TTL) u otra función como:

- **E0/RD/AN5** = Pin de entrada para el control de lectura del bus paralelo esclavo (RD) / entrada analógica 5 (AN5).
- **E1/WR/AN6** = Pin de entrada para el control de escritura del bus paralelo esclavo (WR) / entrada analógica 6 (AN6).
- **E2/CS/AN7** = Pin de entrada para la habilitación del circuito integrado del bus paralelo esclavo (CS) / entrada analógica 7 (AN7).

Pines adicionales

- **MCLR** = Pin de Reset del Microcontrolador (*Master Clear*). Se activa (el PIC se resetea) cuando tiene un "0" lógico en su entrada.
- **VSS** = *Ground* o Tierra.
- **VDD** = Fuente Positiva (+5V).
- **OSC1/CLKIN** = Entrada del Oscilador del Cristal (OSC1) / Entrada de reloj de una Fuente Externa (CLKIN).
- **OSC2/CLKOUT** = Salida del Oscilador del Cristal. Se conecta al Cristal o Resonador en modo XT (Oscilador de Cristal). En modo RC (Resistencia-Condensador), este pin actúa como salida, la cual tiene 1/4 de la frecuencia que entra por el pin OSC1/CLKIN.

Decodificador 7447

El CI 7447 es un decodificador de BCD a 7 segmentos. Acepta una entrada BCD de 4 bits y decodifica el dato en 7 bits (salida invertida) para conectar a un visualizador (ánodo común). En la figura 4.19 se muestra el diagrama de pines del 7447.

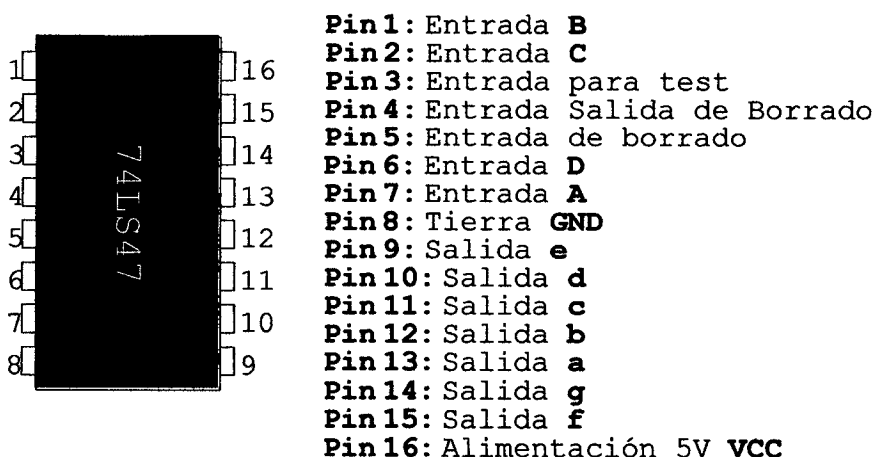


Figura 4.19. Decodificador de BCD a 7 segmentos.

Las pines etiquetados con A, B, C y D del 7447 son las entradas por donde se hacen las combinaciones (0000 a 1001), teniendo en cuenta que la entrada

menos significativa es A (LSB) y la más significativa es D (MSB); y por las salidas a, b, c, d, e, f y g salen las combinaciones para que en el visualizador de 7 segmentos se muestre el número respectivo a la combinación de entrada, por ejemplo, si por las entradas D, C, B, A se da la combinación es 0101 (5 en decimal), en las salidas a, b, c, d, e, f, g se mostraría la combinación 0100100 necesaria para que en el visualizador se muestre el número 5. En la tabla 4.2 se muestra la tabla de verdad del CI 7447.

Decimal	Entradas							Salidas						
	LT	RBI	D	C	B	A	BI/RBO	a	b	c	d	e	f	G
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1	1	X	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
2	1	X	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3	1	X	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
4	1	X	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
5	1	X	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
6	1	X	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
7	1	X	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
8	1	X	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	1	X	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
10	1	X	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0
11	1	X	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
12	1	X	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0
13	1	X	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0
14	1	X	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
15	1	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BI	X	X	X	X	X	X	0	1	1	1	1	1	1	1
RBI	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
LT	0	X	X	X	X	X	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.2. Tabla de verdad del decodificador 7447.

Separador controlado de 8 bits 74245

El circuito integrado 74245 es un dispositivo que internamente posee 16 separadores controlados que permiten el direccionamiento de los bits de A hacia B, o de B hacia A, según sea el valor del bit de dirección. El empaquetado tamaño DIP viene en una distribución de 20 pines como se muestra en la figura 4.20. Como todo integrado TTL, funciona con una alimentación de 5 voltios, esto quiere decir que su alimentación será dada desde la salida del regulador de tensión. La descripción rápida de los pines se muestra a continuación:

- **DIR:** entrada para elegir la dirección de los datos, si es 0, los datos van de B hacia A, y si es 1 los datos van de A hacia B.
- **GND:** tierra.
- **G:** entrada de habilitación del circuito integrado.
- **VCC:** pin de entrada de alimentación de 5 voltios.
- **A0-A7:** pines de entrada o de salida de datos de acuerdo al valor que se ingresa por el pin DIR.
- **B0-B7:** pines de entrada o de salida de datos de acuerdo al valor que se ingresa por el pin DIR.

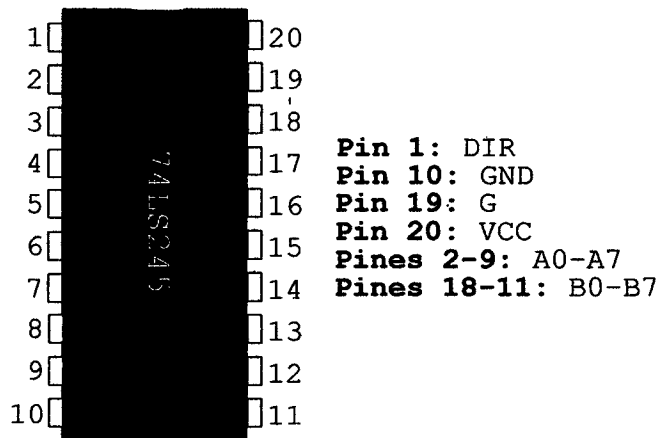


Figura 4.20. Separador controlado bidireccional de 8 bits 74245.

Decodificador 74139

El circuito integrado 74139 posee internamente dos decodificadores de 2 a 4.

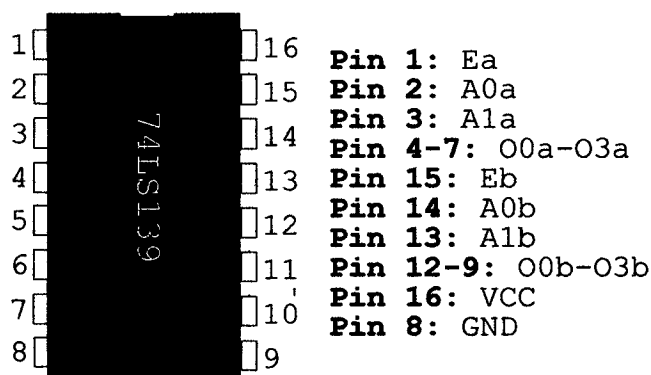


Figura 4.21. Doble decodificador de 2 a 4 74139.

El circuito integrado 74139 es un dispositivo que internamente posee un 2 decodificadores de 2 a 4 que permiten el manejo de una única salida, ésta salida es la que va conectada a la salida de los semáforos. El empaquetado tamaño DIP viene en una distribución de 16 pines como se muestra en la figura 4.21. Como todo integrado TTL, funciona con una alimentación de 5 voltios, esto quiere decir que su alimentación será dada desde la salida del regulador de tensión. La descripción rápida de los pines se muestra a continuación:

- **E (pines 1 y 15):** Son los habilitadores de cada decodificador.
- **A0 y A1 (pines 2 y 3, 14 y 13):** Son las entradas de cada decodificador.
- **O0-O3 (pines 4 a 7, 12 a 9):** Salidas de los decodificadores.
- **VCC (pin 16):** pin de entrada de alimentación de 5 voltios.
- **GND (pin 8):** pin de tierra.

Compuerta NOT 7414

El circuito integrado 7414 posee internamente 6 inversores de alta velocidad que funcionan con una alimentación de 5 voltios.

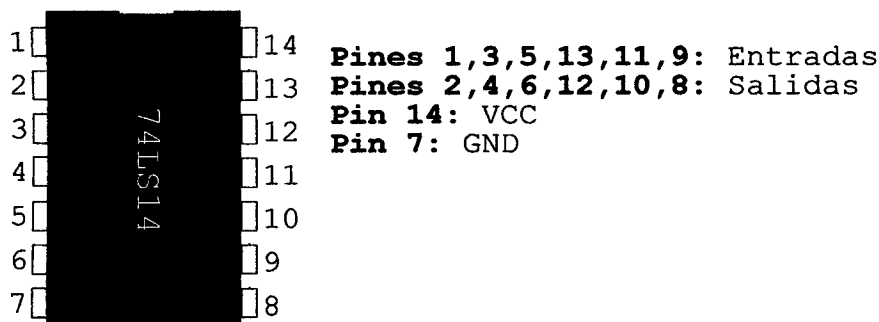


Figura 4.22. Circuito integrado con 6 negadores de alta velocidad.

El circuito integrado 7414 cuenta con 14 pines, cuya distribución de pines se ve en la figura 4.26 y la descripción de cada uno de los pines se muestra a continuación:

- **Pines 1, 3, 5, 13, 11, 9:** Son las entradas de los negadores.
- **Pines 2, 4, 6, 12, 10, 8:** Son las salidas de los negadores.
- **Pin 14:** Alimentación 5 voltios.
- **Pin 7:** Tierra.

Regulador de tensión 78L05

El 78L05 es un regulador de tensión, que regula una salida a 5VDC cuando se ingresa por la entrada un voltaje superior a 5VDC. Este regulador tiene una corriente ideal máxima de un amperio, corriente y voltaje que serían suficientes para alimentar nuestra UTR, debido a que se utilizan dispositivos de bajo consumo.

El regulador cuenta con tres pines (véase la figura 4.2), que son:

- **VIN (pin 1):** Voltaje de entrada.
- **GND (pin 2):** Tierra.
- **VOUT (pin 3):** Voltaje de salida regulada.

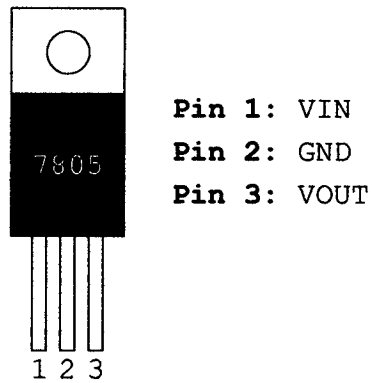


Figura 4.23. Regulador de voltaje 78L05.

Etapas de potencia

Para la activación de cada una de los contadores de 7 segmentos se diseñaron varias etapas de potencia basadas en transistores, cada transistor activa un segmento.

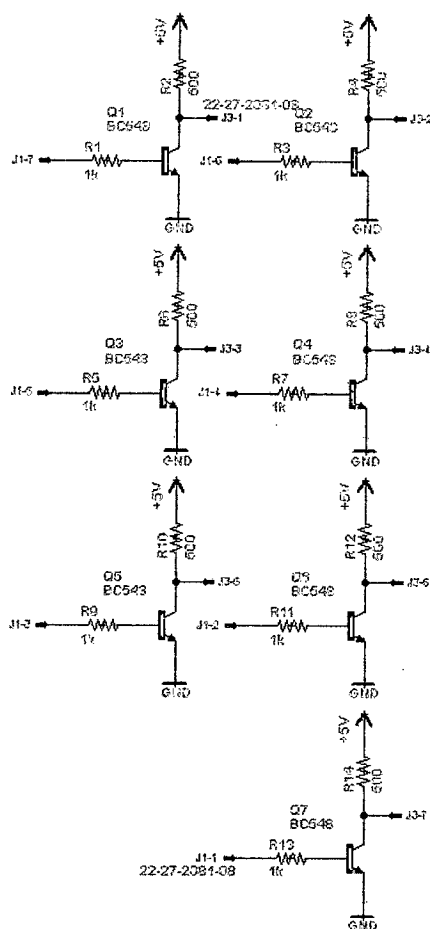


Figura 4.24. Etapas de potencia para los contadores basados en el transistor BC548.

Como se puede apreciar en la figura se cuentan con 7 entradas (J1-1 a J1-7) que se conectan a las salidas de los conectores de las salidas de los 74LS245 (CON1-1 a CON1-7), hay que tomar en cuenta que se colocan 4 etapas de potencia, cada etapa a los conectores de salida CON1, CON2, CON4 y CON5. Las salidas de la etapa de potencia (J3-1 a J3-7) van conectadas a los segmentos del contador.

4.4. DISEÑO DE SOFTWARE BASE

El desarrollo del software se divide en dos partes: El diseño del software del microcontrolador y el diseño del software del computador.

4.4.1. Software del microcontrolador

El software se ha desarrollado con la ayuda del compilador PICBASIC PRO versión 2.6. El lenguaje Basic, es un lenguaje simple que permite desarrollar aplicaciones mucho más rápido que con los lenguajes de máquina tardarías demasiado tiempo.

A continuación colocamos el código de programa que se ha probado en la aplicación:

' Configuración de entrada o salida de los puertos

TRISB=0

TRISD=0

TRISA=0

TRISE=0

TRISC=0 1111 0000

iv1 var byte

iv2 var byte

' Declaración de variables

via1 var byte

via2 var byte

via3 var byte

vib1 var byte

vib2 var byte

vib3 var byte

al var via1.0

b1 var via1.1

c1 var via1.2

d1 var via1.3

a2 var via2.0

b2 var via2.1

c2 var via2.2

d2 var via2.3

a3 var via3.0

b3 var via3.1

c3 var via3.2

d3 var via3.3

a4 var viB1.0

b4 var viB1.1

c4 var viB1.2

d4 var viB1.3

a5 var viB2.0

b5 var viB2.1

c5 var viB2.2

d5 var viB2.3

a6 var viB3.0

b6 var viB3.1

c6 var viB3.2

d6 var viB3.3

via3=0

ADCON1=%0111

' Variables de Comunicación

sem var byte ' Variable de semáforo

troj var byte ' Variable tipo byte para tiempo de Rojo

tver var byte ' Variable tipo byte para tiempo de Verde

ver var byte ' Variable tipo byte de verificación de llegada de datos

Inicio:

' Recepción de datos de tiempos del semáforo

serin2 portc.7,188,10,No_Dato,[wait("\$"),sem,troj,tver,ver]

' Si llega el caracter 13 entonces nos vamos a recepción de lo contrario se regresa a inicio

if ver=13 then Recepcion

Goto Inicio

' Envío de datos

Recepcion:

Serout2 PORTC.6,188,[dec3 ver,10,13]

pause 500

' Configuración de semáforo 1

LOW PORTE.2 ' Verde apagado

LOW PORTC.1 ' Ambar apagado

high PORTC.0 ' Rojo encendido

' Configuración de semáforo 2

low PORTC.2 ' Rojo apagado

LOW PORTC.3 ' Ambar apagado

high PORTC.4 ' Verde encendido

For iv1=troj to 0 step -1

via2=iv1/10

via1=iv1-via2*10

gosub Semaforo1

if iv1<=3 then

' Configuración de semaforo 2

Low PORTC.2 ' Rojo apagado

High PORTC.3 ' Ambar Encendido

LOW PORTC.4 ' Verde apagado

vib2=0

```

    vib1=iv1

    gosub Semaforo2

else

    iv2=iv1-4

    vib2=iv2/10

    vib1=iv2-vib2*10

    gosub Semaforo2

endif

    pause 500

next iv1

' Configuración de semáforo 1

high PORTE.2 ' Verde encendido

LOW PORTC.1 ' Ambar apagado

LOW PORTC.0 ' Rojo apagado

' Configuración de semáforo 2

HIGH PORTC.2 ' Rojo encendido

LOW PORTC.3 ' Ambar apagado

LOW PORTC.4 ' Verde apagado

For iv1=tver to 0 step -1

    iv2=iv1-4

    via2=iv2/10

```

via1=iv2-via2*10

Gosub Semaforo1

if iv1<=3 then

 ' Configuración de semáforo 1

 LOW PORTE.2 ' Verde encendido

 high PORTC.1 ' Ambar apagado

 LOW PORTC.0 ' Rojo apagado

 via2=0

 via1=iv1

 gosub Semaforo1

endif

vib2=iv1/10

vib1=iv1-vib2*10

Gosub Semaforo2

pause 500

next iv1

Goto Inicio

No_Dato:

Goto Inicio

Semaforo1:

PORTD.0=a1

PORTD.1=b1

PORTD.2=c1

PORTD.3=d1

PORTB.4=a2

PORTB.5=b2

PORTB.6=c2

PORTB.7=d2

PORTB.0=a3

PORTB.1=b3

PORTB.2=c3

PORTB.3=d3

return

Semaforo2:

PORTA.4=a4

PORTA.5=b4

PORTE.0=c4

PORTE.1=d4

PORTA.0=a5

PORTA.1=b5

PORTA.2=c5

PORTA.3=d5

PORTD.4=a6

PORTD.5=b6

PORTD.6=c6

PORTD.7=d6

return

Como se puede apreciar en el programa, se puede manipular los tiempos del semáforo.

4.4.2. Software del computador

El software del computador se ha desarrollado en Visual Basic 6.0, pero se podría mudar a cualquier otra versión de Visual Basic Net.

A continuación mostramos las pruebas realizadas con el software con un formulario simple que se podría ampliar.

Como se puede apreciar tenemos la configuración de un cruce de dos semáforos, en los cuales se puede configurar el tiempo de verde y el tiempo de rojo en el semáforo preferencial y automáticamente se configura el tiempo en el semáforo de cruce. Recordemos que es una prueba básica que se ha hecho con un semáforo.

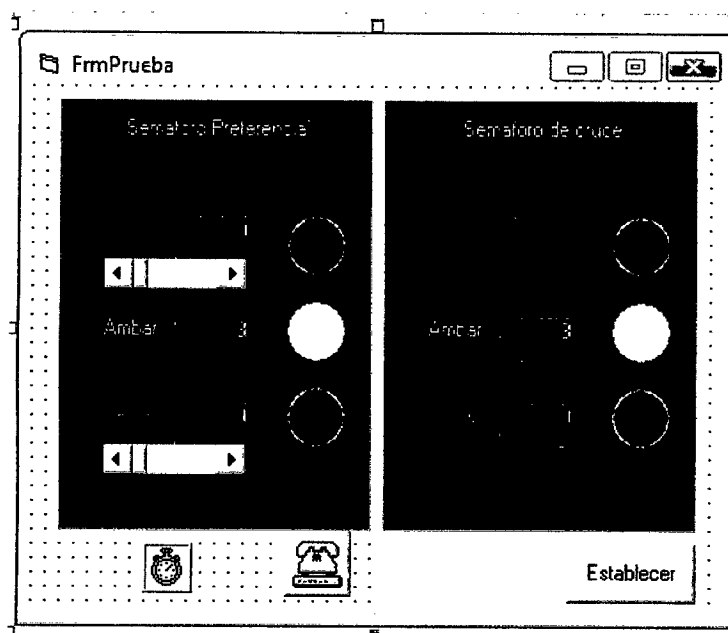


Figura 4.25. Formulario de prueba para control de semáforo.

4.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN

Luego de la realización del semáforo se presenta el mapa con el sistema completo de semaforización de la Av. José de Lama. El objetivo de este sistema será en primer lugar cambiar los semáforos antiguos por semáforos modernos con tecnología LED. El siguiente objetivo es desarrollar la comunicación entre los semáforos de la avenida, utilizando para ello la tecnología GSM, es decir cada cruce tendrá este sistema de comunicación móvil; la justificación de utilizar este sistema de comunicación es su bajo costo de instalación. A continuación se muestra la lista de cruces a la Avenida José de Lama:

- 1 Con Ca. Santa Clara.
- 2 Con Ctra. Panamericana.
- 3 Con Av. M. Champagnat.
- 4 Con Ca. H. Valdizan (Las Capullanas).
- 5 Con Tv. Tacna.
- 6 Con Tv. Piura.
- 7 Con Tv. Callao.
- 8 Con Tv. Tarapacá.
- 9 Con Tv. Enrique Palacios.

112

Para el control de los semáforos se utilizará una estación central que se podría instalar fácilmente en la municipalidad de Sullana o en la base del SECOM. Para la visualización y control de los semáforos se utilizarán las cámaras de seguridad ubicadas en la avenida y que son controladas por la oficinas del SECOM.

En la figura 4.27 se muestra el mapa con las cámaras IP instaladas en la avenida José de Lama. Como se puede apreciar en esta figura, las cámaras IP se encuentran instaladas en:

- A Ca. Santa Clara.
- B Av. Panamericana.
- C Tv. Callao.
- D Tv. Tarapacá.

En la figura 4.28 se muestra el mapa con los semáforos y cámaras IP instaladas, con esto se puede observar lo siguiente:

La cámara instalada en el punto A cubre la zona del semáforo 1.

La cámara instalada en el punto B cubre la zona de los semáforos 2 y 3.

La cámara instalada en el punto C cubre la zona de los semáforos 5, 6 y 7.

La cámara instalada en el punto D cubre la zona de los semáforos 7, 8 y 9.

Cabe mencionar que el semáforo 4 no tiene punto de visualización, es así que a futuro se recomienda que se instale una cámara IP. Por ahora se podría manipular los tiempos de éste semáforo considerando los tiempos de los semáforos aledaños 3 y 5.

115

4.6. COSTOS GENERALES DEL PROYECTO

A continuación damos la lista general de costos:

PARTIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.
1.00	SUMINISTRO DE EQUIPOS Y MATERIALES				
1.01	CRUCE CON CALLE SANTA CLARA				
1.01.01	Semáforo vehicular	GLB	2.00	1,200.00	2,400.00
1.01.02	Semáforo Peatonal	GLB	2.00	1,000.00	2,000.00
1.01.03	Poste con pintura epoxica	GLB	2.00	350.00	700.00
1.01.04	Panel Solar	GLB	2.00	700.00	1,400.00
1.01.05	Batería Solar	GLB	2.00	800.00	1,600.00
1.01.06	Regulador de carga	GLB	2.00	350.00	700.00
1.01.07	Contador	GLB	2.00	500.00	1,000.00
1.01.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.01.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.01.10	Suministro de accesorios para instalación	GLB	2.00	400.00	800.00
1.02	CRUCE CON CARRETERA PANAMERICANA				
1.02.01	Semáforo vehicular	GLB	4.00	1,200.00	4,800.00
1.02.02	Semáforo Peatonal	GLB	4.00	1,000.00	4,000.00
1.02.03	Poste con pintura epóxica	GLB	4.00	350.00	1,400.00
1.02.04	Panel Solar	GLB	4.00	700.00	2,800.00
1.02.05	Batería Solar	GLB	4.00	800.00	3,200.00
1.02.06	Regulador de carga	GLB	4.00	350.00	1,400.00
1.02.07	Contador	GLB	4.00	500.00	2,000.00
1.02.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.02.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.02.10	Suministro de accesorios para instalación	GLB	4.00	400.00	1,600.00
1.03	CRUCE CON AV. MARCELINO CHAMPAGNAT				
1.03.01	Semáforo vehicular	GLB	4.00	1,200.00	4,800.00
1.03.02	Semáforo Peatonal	GLB	4.00	1,000.00	4,000.00
1.03.03	Poste con pintura epoxica	GLB	4.00	350.00	1,400.00
1.03.04	Panel Solar	GLB	4.00	700.00	2,800.00
1.03.05	Batería Solar	GLB	4.00	800.00	3,200.00
1.03.06	Regulador de carga	GLB	4.00	350.00	1,400.00
1.03.07	Contador	GLB	4.00	500.00	2,000.00
1.03.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.03.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.03.10	Suministro de accesorios para instalación		4.00	400.00	1,600.00
1.04	CRUCE CON CALLE HERMILIO VALDIZAN				

1.04.01	Semáforo vehicular	GLB	2.00	1,200.00	2,400.00
1.04.02	Semáforo Peatonal	GLB	2.00	1,000.00	2,000.00
1.04.03	Poste con pintura epoxica	GLB	2.00	350.00	700.00
1.04.04	Panel Solar	GLB	2.00	700.00	1,400.00
1.04.05	Batería Solar	GLB	2.00	800.00	1,600.00
1.04.06	Regulador de carga	GLB	2.00	350.00	700.00
1.04.07	Contador	GLB	2.00	500.00	1,000.00
1.04.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.04.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.04.10	Suministro de accesorios para instalación	GLB	2.00	400.00	800.00
1.05	CRUCE CON TRANSVERSAL TACNA				
1.05.01	Semáforo vehicular	GLB	2.00	1,200.00	2,400.00
1.05.02	Semáforo Peatonal	GLB	2.00	1,000.00	2,000.00
1.05.03	Poste con pintura epoxica	GLB	2.00	350.00	700.00
1.05.04	Panel Solar	GLB	2.00	700.00	1,400.00
1.05.05	Batería Solar	GLB	2.00	800.00	1,600.00
1.05.06	Regulador de carga	GLB	2.00	350.00	700.00
1.05.07	Contador	GLB	2.00	500.00	1,000.00
1.05.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.05.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.05.10	Suministro de accesorios para instalación	GLB	2.00	400.00	800.00
1.06	CRUCE CON TRANSVERSAL PIURA				
1.06.01	Semáforo vehicular	GLB	2.00	1,200.00	2,400.00
1.06.02	Semáforo Peatonal	GLB	2.00	1,000.00	2,000.00
1.06.03	Poste con pintura epoxica	GLB	2.00	350.00	700.00
1.06.04	Panel Solar	GLB	2.00	700.00	1,400.00
1.06.05	Batería Solar	GLB	2.00	800.00	1,600.00
1.06.06	Regulador de carga	GLB	2.00	350.00	700.00
1.06.07	Contador	GLB	2.00	500.00	1,000.00
1.06.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.06.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.06.10	Suministro de accesorios para instalación	GLB	2.00	400.00	800.00
1.07	CRUCE CON TRANSVERSAL CALLAO				
1.07.01	Semáforo vehicular	GLB	2.00	1,200.00	2,400.00
1.07.02	Semáforo Peatonal	GLB	2.00	1,000.00	2,000.00
1.07.03	Poste con pintura epoxica	GLB	2.00	350.00	700.00
1.07.04	Panel Solar	GLB	2.00	700.00	1,400.00
1.07.05	Batería Solar	GLB	2.00	800.00	1,600.00
1.07.06	Regulador de carga	GLB	2.00	350.00	700.00
1.07.07	Contador	GLB	2.00	500.00	1,000.00

1.07.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.07.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.07.10	Suministro de accesorios para instalación	GLB	2.00	400.00	800.00
1.08	CRUCE CON TRANSVERSAL TARAPACA				
1.08.01	Semáforo vehicular	GLB	2.00	1,200.00	2,400.00
1.08.02	Semáforo Peatonal	GLB	2.00	1,000.00	2,000.00
1.08.03	Poste con pintura epoxica	GLB	2.00	350.00	700.00
1.08.04	Panel Solar	GLB	2.00	700.00	1,400.00
1.08.05	Batería Solar	GLB	2.00	800.00	1,600.00
1.08.06	Regulador de carga	GLB	2.00	350.00	700.00
1.08.07	Contador	GLB	2.00	500.00	1,000.00
1.08.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.08.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.08.10	Suministro de accesorios para instalación	GLB	2.00	400.00	800.00
1.09	CRUCE CON TRANSVERSAL ENRIQUE PALACIOS				
1.09.01	Semáforo vehicular	GLB	2.00	1,200.00	2,400.00
1.09.02	Semáforo Peatonal	GLB	2.00	1,000.00	2,000.00
1.09.03	Poste con pintura epoxica	GLB	2.00	350.00	700.00
1.09.04	Panel Solar	GLB	2.00	700.00	1,400.00
1.09.05	Batería Solar	GLB	2.00	800.00	1,600.00
1.09.06	Regulador de carga	GLB	2.00	350.00	700.00
1.09.07	Contador	GLB	2.00	500.00	1,000.00
1.09.08	Tarjeta controladora incluye gabinete	GLB	1.00	350.00	350.00
1.09.09	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
1.09.10	Suministro de accesorios para instalación	GLB	2.00	400.00	800.00
1.10	CENTRAL DE CONTROL Y MONITOREO				
1.10.01	Computador servidor	GLB	1.00	8,000.00	8,000.00
1.10.02	UPS de 1kVA con transformador de aislamiento	GLB	1.00	2,000.00	2,000.00
1.10.03	Acondicionamiento de la sala de control y monitoreo	GLB	1.00	10,000.00	10,000.00
1.10.04	Licencia de software	GLB	1.00	1,000.00	1,000.00
1.10.05	Modulo de comunicación GSM	GLB	1.00	400.00	400.00
2.00	SERVICIO INSTALACIÓN				
2.01	CRUCE CON CALLE SANTA CLARA				
2.01.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	1,200.00	1,200.00
2.02	CRUCE CON CARRETERA PANAMERICANA				
2.02.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	2,400.00	2,400.00
2.03	CRUCE CON AV. MARCELINO CHAMPAGNAT				
2.03.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	2,400.00	2,400.00

2.04	CRUCE CON CALLE HERMILIO VALDIZAN				
2.04.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	1,200.00	1,200.00
2.05	CRUCE CON TRANSVERSAL TACNA				
2.05.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	1,200.00	1,200.00
2.06	CRUCE CON TRANSVERSAL PIURA				
2.06.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	1,200.00	1,200.00
2.07	CRUCE CON TRANSVERSAL CALLAO				
2.07.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	1,200.00	1,200.00
2.08	CRUCE CON TRANSVERSAL TARAPACA				
2.08.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	1,200.00	1,200.00
2.09	CRUCE CON TRANSVERSAL ENRIQUE PALACIOS				
2.09.01	Servicio de instalación de semáforo y poste en el cruce, incluye trabajos civiles y eléctricos	GLB	1.00	1,200.00	1,200.00
2.10	CENTRAL DE CONTROL Y MONITOREO				
2.10.01	Servicio de instalación de equipos en sala de control (computador servidor, UPS y otros)	GLB	1.00	4,500.00	4,500.00
PRECIO TOTAL SIN IGV					162,450.00
IGV (18%)					29,241.00
PRECIO TOTAL INCLUIDO IGV					191,691.00

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar un sistema de semaforización telecontrolado para la avenida José de Lama de la ciudad de Sullana, utilizando los puntos de intersección en los cuales ya estaban instalados los semáforos antiguos.
2. Cada etapa del semáforo se diseñó teniendo en cuenta la optimización del proyecto, analizando el consumo de componentes empleados y simplificación de hardware y software.
3. Se optó por la selección los mejores equipos, teniendo en cuenta datos técnicos, ahorro de energía.
4. Se diseñó el software y hardware para aplicación, detallando cada etapa del proyecto.

CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES

1. Ante el inevitable crecimiento del tránsito vehicular de la ciudad de Sullana, específicamente en su arteria principal, la Av. José de Lama, se debe considerar la implementación de sistemas de semaforización telecontrolado, para tener un mejor orden, eficiencia y seguridad en el transporte vehicular.
2. La utilización de fuentes ecológicas de energía, como la energía solar, a través de paneles fotovoltaicos deberían de ser considerados en la implementación de proyectos, de esta manera se estaría colaborando la disminución del calentamiento global y se tendría un menor costo de funcionamiento.
- 3 Para una mayor eficacia del presente proyecto de semaforización, se recomienda un mayor número de cámaras de seguridad, de tal modo que se pueda controlar en tráfico en más intersecciones vehiculares.
- 4 Promover la educación vial, dando énfasis en el respeto de las señales de tránsito. Sin una sociedad educada en normas de tránsito, sería vano implementar un sistema de semaforización.

CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA

7.1. LIBROS

- **Ángulo, José. Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones.** Segunda parte: PIC16F87X. España, McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.U., 2000, 232 pp.
- **Barra, O., Barra, F. Microcontroladores PIC con programación PBP.** España, Editorial RA-MA, 2011, 457 pp.
- **Caballero, Alejandro. Metodología de la investigación científica: Diseño con hipótesis explicativas.** Lima, UDEGRAF, 2000, 296 pp.
- **Palacios, Enrique, Remiro, Fernando y López, Lucas, Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos.** México, Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 2004, 623 pp.
- **Velásquez, Ángel y Rey, Nérida. Metodología de la investigación científica.** Lima, San Marcos, s/f, 311 pp.

7.2. ARTÍCULOS DE INTERNET

- **Bueno, Antonio, Construcción de un semáforo.** En: http://www.d1105488.mvdomainwebhost.com/portaleso/trabajos/tecnologia/proyectos/proyecto_semaforo.pdf, Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Cádiz. España, 11 pp.
- **Harris, Angelino, Movilidad Urbana.** En: <http://nestlac.org/Concepcion/PresentacionATT.pdf>, Autoridad del tránsito y transporte terrestre, Panamá, 2004, 25 pp.
- **Martinez, Yaiza, Semáforos inteligentes reducen la contaminación y agilizan el tráfico.** En: http://www.tendencias21.net/Semaforos-inteligentes-reducen-la-contaminacion-y-agilizan-el-trafico_a2074.html ., Tendencias Tecnológicas, 2008, 1 pp.
- **Universidad Nacional de Colombia. Indicadores de gestión de recurso humano.** En: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes%5Cmanizales/4010059/docs_cursor/Modulo%20Indicadores/indicadores1.htm, Colombia, 2005, 1 pp.
- **Wikipedia. Diodo emisor de luz.** En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Led>, 2010, 1 pp.
- **Wikipedia. GSM.** En: <http://es.wikipedia.org/wiki/GSM>, 2010, 1 pp.
- **Wikipedia. Microcontrolador.** En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>, 2010, 1 pp.

- Wikipedia. Panel solar. En: http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar., 2010, 1 pp.
- Wikipedia. Semáforo. En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sem%C3%A1foro>., 2010, 1 pp.
- Wikipedia. Investigación. En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Investigaci%C3%B3n>, 2010, 1 pp.